Kriegsschauplatz Cyberspace



Reinhard Breuer

Wer die Attentäter von New York und Washington jemals für Lowtech-Terroristen gehalten hatte, war einem großen Irrtum aufgesessen. Natürlich stammen Teppichmesser nicht aus der Hightech-Kiste; die Waffen waren jedoch Flugzeuge, vom zivilen Transportgerät in handgesteuerte Raketen umgewandelt.

Inzwischen hat sich das Bedrohungsfeld gewandelt. Wie früher Paketbomben werden nun mit Milzbranderregern verseuchte Briefe verschickt – per Schneckenpost! Auch hier wird eine zivile Infrastruktur in eine Waffe verwandelt. Die Eskalationszeiten im Bioterrorismus sind länger und die Bilder unspektakulärer als bei Flugzeugbomben, die vor laufenden Kameras in Wolkenkratzer einschlagen.

Die Ereignisse haben die Gefahren etwas verdrängt, die dem Internet von so genannten Cyberterroristen drohen. Auch im „Netz der Netze“ wird der Terror schon seit Jahren trainiert. Einige von uns haben bereits am eigenen Rechner zu spüren bekommen, wie virtuelle Viren-Post („I love you!“) handfeste Probleme bewirken kann. Experten beziffern allein in diesem Jahr die Schäden durch vier Virenattacken weltweit auf etwa fünf Milliarden Dollar.

Noch immer erscheint die Analogie zur biologischen Welt der Krankheitserreger vielen abwegig. Doch sie ist in verblüffender Weise zutreffend. Kleine Programme, wie zuletzt im September der Wurm „Nimda“, sind von ihren Erfindern gleich mit vier unterschiedlichen Angriffswerkzeugen ausgestattet worden (siehe dazu „Sabotage im Internet“ auf Seite 56). Damit verstopfen die Täter Breitbandleitungen, bringen Web-Seiten in ihre Gewalt, versklaven Millionen PCs als „Zombies“, zerstören Betriebssysteme. Im weltweiten Leitungsverbund können sie außerdem ihre Identität besonders einfach verbergen.



Typische Hackerszene gegen den Terror: *www.kill.net*

Mit solchen Methoden lässt sich das Internet, dessen Unzerstörbarkeit gegen äußere militärische Angriffe oft gerühmt wurde, von innen heraus attackieren, ähnlich wie die Türme des World Trade Center durch inländische Flugzeuge. Vor allem die USA werden damit überall dort zum Angriffsziel, wo Firmen und Behörden besonders eng vernetzt sind. Flughäfen, Banken, Stromversorger sind ebenso durch Computeranschläge verletzbar wie Börsen, Telefongesellschaften oder Lebensmittelketten. Der Cyberterrorismus agiert aber längst weltweit im Schatten internationaler Konflikte: Während des Kosovo-Kriegs zum Beispiel, aber auch nach der Notlandung eines amerikanischen Spionageflugzeugs in China starteten Hacker lawinenartige Virenattacken.

Das hat eine andere Schadensqualität als bei „klassischen“ Hacker-Einbrüchen, in denen bislang „nur“ Daten gestohlen oder Webseiten verstümmelt werden sollten. Sich vor Cyberterrorismus zu schützen gleicht dem Hase-und-Igel-Spiel – jede Maßnahme hinkt der neuesten Infektion hinterher, fast jedes System-Update eröffnet Pforten für neuartige Angriffe. Der Cyberspace droht zum Kriegsschauplatz zu werden. ■

INHALT

TITELBILD:

Weite Bereiche des Weltalls sind ausgesprochen lebensfeindlich. Die Skala der kosmischen Bedrohungen reicht von Meteoriteneinschlägen bis zu Strahlungsausbrüchen aus den Zentren von Galaxien.

Grafik: Ron Miller

FORSCHUNG AKTUELL

SPEKTROGRAMM

HAUPTARTIKEL



TITELTHEMA:

Lebensfeindliches All

Seite 38

Von Guillermo Gonzalez, Donald Brownlee und Peter D. Ward

Außer der Erde gibt es womöglich keine anderen Planeten mit höheren Lebensformen. Denn die ökologischen Nischen in unserer Galaxis sind weitaus seltener und kleiner als vermutet.



TIERHANDEL

Gifttod im Meer

Seite 32

Von Sarah Simpson

Die meisten tropischen Fische in amerikanischen und europäischen Salzwasseraquarien wurden beim Fang mit Cyanid betäubt. Diese Praxis bedroht einzigartige Korallenriffe.

KREBSMEDIKAMENTE

Die neuen Medikamente gegen Krebs

Seite 46

Von Claudia Eberhard-Metzger

Auch die neuesten, maßgeschneiderten Krebsmittel sind keine Wunderdrogen. Doch sie stören vor allem Prozesse in entarteten Zellen – mit oft großem Erfolg.



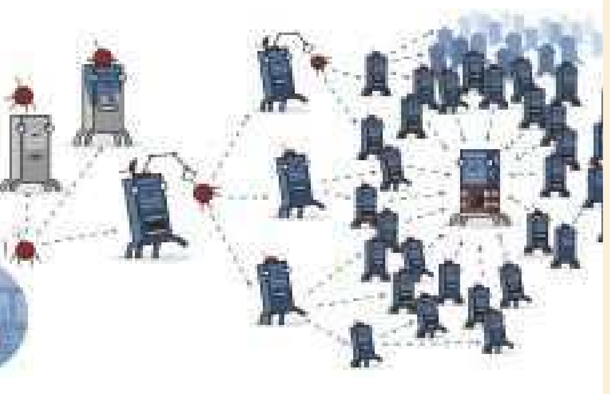
CYBERTERROR

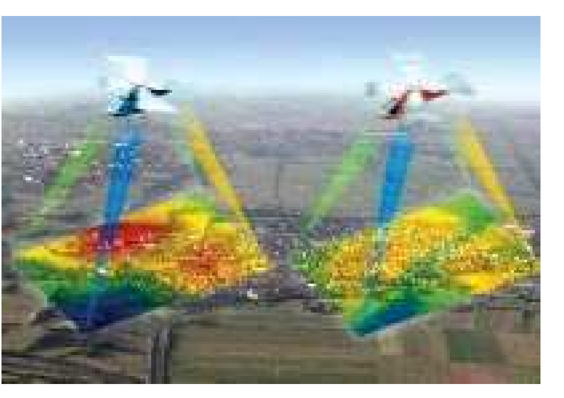
Sabotage im Internet

Seite 56

Von Carolyn Meinel

Könnte das Internet komplett zusammenbrechen? Die kürzliche Attacke des Web-Wurms „Code Red“ gab einen Vorgeschmack auf Cyberspace-Kriege zwischen Hackergruppen oder ganzen Staaten.





LUFTFAHRT

Himmlische Störenfriede

Seite 64

Von Hanno Heller

Hubschrauber sind unentbehrliche Lastenträger in der Luftfahrt, aber sie verursachen teuflischen Lärm. Weltweit packen Physiker und Ingenieure nun das Übel an der Wurzel.

PSYCHOLOGIE

Unter Hypnose

Seite 70

Von Michael R. Nash

Oft belächelt oder mystisch verklärt erobert sich die Hypnose einen festen Platz unter den therapeutischen Verfahren etwa zur Schmerzbekämpfung.

Boxenstopp im Zwergenland

Seite 78

Für manche ist MicroCar nur ein winziges Automobil, für andere der größte Feldversuch in Sachen Mikrofertigung.

Außerdem
- Lichtleiter erhöhen Flugsicherheit

Technogramm
- Kaffee rösten
- Kartoffeln schützen
- Kunststoff spritzen



FORSCHUNG UND GESELLSCHAFT

REZENSIONEN

PHYSIKALISCHE UNTERHALTUNGEN

WEITERE RUBRIKEN

Pflanzen bezahlen für Leibwächter

Forschung aktuell – September 2001

Einige Passagen aus diesem Artikel: „Die Pflanze rekrutiert“, „um Insekten anzulocken ...“, „Hilferuf der Pflanze“. Handelt es sich also wirklich um eine ausgeklügelte Strategie, die die Pflanze anwendet, oder um eine prädarwinistisch-spätromantische Darstellungsweise? Vielleicht wird diese Art der Beschreibung von einer aufgeklärten Leserschaft goutiert und auch richtig verstanden, aber ich habe doch Bedenken gegen diese finalistische Aussageform. Es sollte doch wohl heißen: Bei der Pflanze ist diese und jene Eigenschaft zu bemerken, die solche und solche Auswirkung hat ... und sie hat der Pflanze verbesserte Chancen für die Erhaltung ihrer Art eingeräumt. Populärwissenschaftlich gut und schön, und gar nicht so selten in Gebrauch – aber in einer Zeit, wo selbst der (genetisch determinierten) Spezies *Homo sapiens* der freie Willen wegdiskutiert wird?

Dr. Hanns Kramberg, Wien



MARTIN HEIL, UNIVERSITÄT WÜRZBURG

Ameisen laben sich an einem Nektartropfen.

Molekulare Medizin – Möglichkeiten und Grenzen

Forschung und Gesellschaft – September 2001

Identische Kopien

Ein Klon ist nie ein „Zwilling“ im geläufigen Verständnis. Identische Kopien von Menschen sind nicht möglich, es müsste „genetisch identisch“ heißen, denn der Klon wächst in einer ganz anderen Zeit und damit in einer ganz anderen Welt auf als sein DNA-Spender. In dem Bewusstsein „ich bin ein Klon“ wird er sämtliche Behinderungen und Krankheiten seiner selbst sowie all derer, die „misslungene“ Versuche auf dem Weg zum „Erfolg“ sind (bei Dolly waren es mehr als 300!), in die Verantwortung seines Vaters (resp. seiner Mutter) geben können oder müssen.

Dr. Cornelia Liesenfeld, Augsburg

Endlich gut verständliches Hintergrundwissen

In dem oben genannten Artikel hat es André Rosenthal meiner Meinung nach vorbildlich geschafft, in angemessener Sachlichkeit Entwicklung, Methoden, Probleme, Chancen und Gefahren der Molekularbiologie sowie deren politische und gesellschaftliche Relevanz darzustellen.

Besonders gefreut hat mich der Teil des Artikels, in dem er die Präimplantationsdiagnostik beschreibt: Er hat mir endlich gut verständlich das Hintergrundwissen vermittelt, das man zur Beurteilung der gegenwärtigen Diskussion dieser Methode benötigt.

Niels Buthe, Kiel

Cordula Neuhaus: „Hyperaktive Jugendliche und ihre Probleme“

Rezensionen – März 2001

Im Gegensatz zur Meinung des Rezensenten sind wir heute bei ADHD (Attention Deficit Hyperactivity Disorder) doch etwas über unbewiesene Hypothesen hinaus. Siehe dazu die Veröffentlichung von M. Ernst zum Dopa-Decarboxylase-Mangel in *Neuroscience*, August 1998, S. 5901.

Dass in dem Buch auch bewährte verhaltenstherapeutische Methoden erwähnt werden, mag den Autor kränken. Frau Neuhaus zu unterstellen, sie würde bei der Therapieplanung die Familiendynamik unterschlagen, wirkt grotesk, wenn man weiß, dass sie dafür als eine der Ersten das erfolgreiche Eltern-Verhaltenstraining entwickelt und darüber publiziert hat. Die Empfehlung, dass sich Betroffene an Experten für Familientherapie wenden sollten, ist das Allerletzte, denn von dort kommen die meisten Enttäuschten gerade.

Schade, dass therapeutische Einseitigkeit hier Verwirrung stiftet. Ich werde dieses Buch weiterhin empfehlen.

Dr. Peter Altherr, Klingenmünster

Anmerkung des Rezensenten:

Gegen verhaltenstherapeutische Elemente habe ich nichts einzuwenden. Auch die Richtung der Kinderpsychiatrie, der ich angehöre, fordert sie als sinnvolle Bausteine einer multimodalen Behandlung. Was nicht bewiesen ist und zur Wachsamkeit aufruft, ist die in die Ausführungen von Frau Neuhaus eingestreute „Sicherheit“, dass ADHD auf neurobiologische Defekte zurückzuführen sei. Die von Herrn Altherr zitierte Arbeit kann zu dieser Sicherheit nichts beitragen, denn sie bezieht sich auf Erwachsene, für die bisher keine verpflichtende ADHD-Diagnostik erarbeitet wurde. Untersuchungen der gleichen Forschungsgruppe zur Dopa-Decarboxylase-Dynamik bei ADHD-Kindern (Ernst et al., *American Journal of Psychiatry*, Bd. 156, S. 1209, August 1999) konnten keine signifikanten Differenzen aufzeigen. Meines Wissens ist bis heute keine einzige wissenschaftliche Arbeit publiziert worden, die bei ADHD-Kindern einen definierten neurobiologischen Defekt im Bereich des dopaminergen Systems nachweist.

Dagegen werden Arbeiten, die Nebenwirkungen des verbreiteten Methylphenidats (Ritalin bzw. Medikinet) am sich entwickelnden Gehirn geprüft haben, wenig beachtet (L. Campell et al., *Journal of Child and Adolescent Psychopharmacology*, Bd. 6, S. 229, 1999; G. H. Moll in der gleichen Zeitschrift, Bd. 11, S. 1, 2001). Schon diese beiden Arbeiten, die bleibende Schäden des Methylphenidat-Einsatzes bzw. die Unterdrückung kreativer Prozesse befürchten lassen, müssen den Therapeuten anregen, ohne Stimulanzienbehandlung auszukommen.

Dr. Helmut Bonney, Heidelberg

Unsere Verlagsadresse hat sich geändert:

Spektrum DER WISSENSCHAFT

Verlagsgesellschaft mbH
Slevogtstraße 3-5
69126 Heidelberg
Telefon (0 62 21) 91 26-600
Fax (0 62 21) 91 26-751

Die übrigen 30 000 Gene

Forschung aktuell – Oktober 2001

Der kurze Arm eines Chromosoms wird mit p bezeichnet, der lange dagegen mit q. Die Abschnitte werden mit Ziffern benannt, es folgen die Banden bzw. Subbanden. Das Gen LYZ liegt nach meiner Quelle OMIM (Online Mendelian Inheritance in

Briefe an die Redaktion ...

... richten Sie bitte mit Ihrer vollständigen Adresse an:

Spektrum der Wissenschaft
Ursula Wessels
Postfach 104840
69038 Heidelberg

E-Mail: wessels@spektrum.com
Fax: (0 62 21) 91 26-729

Men) für LYZ im Bereich 12q14.3–12q15..., ist also noch nicht punktgenau lokalisiert. Wenn Sie nach LYZ auf Chromosom 12 suchen, finden Sie genauere Angaben und eine Grafik.

Ein erklärender Text findet sich unter der OMIM-Nummer*153450 LYSOZYME; LYZ. Man kann alle Infos durch Klicken erreichen:
http://www.ncbi.nlm.nih.gov/
An Humangenetik interessierte Spektrum-Leser werden sich sicher über diese Links freuen.

Dr. Roland Kuhn, Mainz

Cartoons

Ich möchte nur mal schnell Ihrem Zeichner OH ein virtuelles Sträußlein schicken. Seine Zeichnungen sind immer so feinsinnig, witzig, oft bissig. Das gefällt mir. Sie lockern die anspruchsvollen Texte so schön auf.

Stephan Scherrer, Basel

Das unterschätzte Kleinhirn

Oktober 2001

Diesen Beitrag habe ich mit großem Interesse gelesen, vermisse darin aber einen Hinweis auf das wohl interessanteste Kleinhirn, nämlich das der afrikanischen Elektrischen Fische, der Mormyriden. Bei ihnen ist das Kleinhirn der beherrschende Anteil, der dazu beiträgt, dass das Hirn dieser Fische ca. 2 Prozent des Körpergewichts beträgt, also mit dem Hirngewicht des Menschen vergleichbar ist. Histologisch zeigen sich die von den Autoren beschriebenen Strukturen in noch schönerer Ausprägung als bei den Säugetieren.

Die Mormyriden geben mit ihren elektrischen Organen sehr kurze Stromstöße ab, mit deren Hilfe sie sich in ihrer Umgebung orientieren und auch miteinander kommunizieren können. Auch dies erfordert eine sehr genaue Zeitmessung, weil der Sendeimpuls oftmals, d. h. artspezifisch, sehr viel kürzer als ein normaler Nervenimpuls (ca. 1 msec) sein kann, nämlich 300 µsec oder weniger. Da die Intervalle zwischen den Sendeimpulsen, die mit Frequenzen bis zu etwa 120 Hz abgegeben werden, für die Kommunikation wichtig sind, und die eigenen Sendungen von denen eines „Partners" unterschieden werden müssen, muss die Zeitmessung wahrscheinlich im Bereich von Nanosekunden arbeiten. Die Purkinjezellen der Mormyriden sind noch wesentlich exakter gebaut als die der Säuger, sie sind nicht bäumchenförmig, sondern kammförmig, und werden von sehr zahlreichen Parallelfasern gekreuzt.

Merkwürdig ist allerdings, dass die südamerikanischen Elektrischen Fische, die Gymnotiden, zu denen auch der Zitteraal gehört, kein außergewöhnlich großes Kleinhirn haben, obwohl sie in ihren Fähigkeiten zur Orientierung im Raum und zur Kommunikation den afrikanischen Fischen nicht nachstehen. Aber in der Biologie gibt es eben meist mehrere Lösungen für das gleiche Problem.

Prof. Wilhelm Harder, Tübingen



CMSO / OKAPIA

Das Kleinhirn – die Hochleistungszentrale im Hinterkopf

Spektrum DER WISSENSCHAFT

Chefredakteur: Dr. habil. Reinhard Breuer (v.i.S.d.P.)
Stellvertretende Chefredakteure: Dr. Inge Hoefer (Sonderhefte), Dr. Gerhard Trageser
Redaktion: Dr. Klaus-Dieter Linsmeier, Dr. Christoph Pöppe (Online Coordinator), Dr. Uwe Reichert, Dr. Adelheid Stahnke; E-Mail: redaktion@spektrum.com
Ständiger Mitarbeiter: Dr. Michael Springer
Schlussredaktion: Katharina Werle, Christina Peiberg
Bildredaktion: Alice Krüßmann
Layout: Sibylle Franz, Natalie Schäfer (stv. Herstellerin), Karsten Kramarczik (Artwork Coordinator), Andreas Merkert
Redaktionsassistenz: Cornelia Schenck, Ursula Wessels
Redaktionsanschrift: Postfach 104840, 69038 Heidelberg Tel. (0 62 21) 91 26-711, Fax (0 62 21) 91 26-716
Büro Bonn: G. Hartmut Altenmüller, Tel. (0 22 44) 43 03, Fax (0 22 44) 63 83, E-Mail: ghalt@aol.com
Korrespondenten: Dieter Beste, Marion Kälke, Tel. (02 11) 908 3357, Fax (02 11) 908 33 58, E-Mail: Dieter.Beste@t-online.de
Herstellung: Klaus Mohr, Tel. (0 62 21) 91 26-730
Marketing und Vertrieb: Annette Baumbusch, Anke Walter, Tel. (0 62 21) 91 26-741/744; E-Mail: marketing@spektrum.com
Übersetzer: An diesem Heft wirkten mit: Dr. Ulf Borgeest, Dr. Olaf Fritsche, Angelika Hildebrandt, Matthias Weiß.
Verlag: Spektrum der Wissenschaft, Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 104840, 69038 Heidelberg; Hausanschrift: Slevogtstraße 3-5, 69126 Heidelberg, Tel. (0 62 21) 91 26-711, Fax (0 62 21) 91 26-716
Geschäftsleitung: Dean Sanderson, Markus Bossle

Leser-Service: Marianne Blume, Tel. (0 62 21) 91 26-743, E-Mail: marketing@spektrum.com
Vertrieb und Abonnementverwaltung: Spektrum der Wissenschaft Boschstraße 12, 69469 Weinheim, Tel. (0 62 01) 60 61 50, Fax (0 62 01) 60 61 94
Bezugspreise: Einzelheft DM 13,50/€ 6,90/sfr 13,50/öS 98,–; im Abonnement DM 147,86/€ 75,60 für 12 Hefte; für Studenten (gegen Studiennachweis) DM 127,91/€ 65,40. Die Preise beinhalten DM 11,73/€ 6,00 Versandkosten. Bei Versand ins Ausland fallen DM 11,74/€ 6,00 Porto-Mehrkosten an. Zahlung sofort nach Rechnungserhalt. Konten: Deutsche Bank, Weinheim, 58 36 43 202 (BLZ 670 700 10); Postbank Karlsruhe 13 34 72 759 (BLZ 660 100 75)

Anzeigen: GWP media-marketing, Verlagsgruppe Handelsblatt GmbH; Bereichsleitung: Andreas Formen; Anzeigenleitung: Holger Grossmann, Tel. (02 11) 887-23 79, Fax (02 11) 887-23 99 verantwortlich für Anzeigen: Stefan Söht, Postfach 10 26 63, 40017 Düsseldorf, Tel. (02 11) 887-23 86, Fax (02 11) 887-28 46
Anzeigenvertretung: Berlin-West: Rainer W. Stengel, Lebuser Str. 13, 10243 Berlin, Tel. (0 30) 7 74 45 16, Fax (0 30) 7 74 66 75; Berlin-Ost: Gunter-E. Hackemesser, Friedrichstraße 150–152, 10117 Berlin, Tel. (030) 6 16 86-150, Fax (0 30) 6 15 90 05, Telex 114810; Hamburg: Michael Scheible, Stefan Irmler, Burchardstraße 17, 20095 Hamburg, Tel. (0 40) 30 18 31 84, Fax (0 40) 33 90 90; Düsseldorf: Cornelia Koch, Klaus-P. Barth, Werner Beyer, Herbert Piehl, Kasernenstraße 67, 40213 Düsseldorf, Postfach 10 26 63, 40017 Düsseldorf, Tel. (02 11) 3 01 35-20 50, Fax (02 11) 1 33 97 4; Frankfurt: Anette Kullmann, Dirk Schaeffer, Holger Schlitter, Große Eschenheimer Straße 16-18, 60313 Frankfurt am Main, Tel. (0 69) 92 01 92 82, Fax (0 69) 92 01 92 82; Stuttgart: Erwin H. Schäfer, Norbert Niederhof, Königstraße 20, 70173 Stuttgart, Tel. (0711) 22 475 40, Fax (07 11) 22 475 49; München: Reinold Kassel, Karl-Heinz Pfund, Josephspitalstraße 15, 80331 München, Tel. (0 89) 54 59 07-12, Fax (0 89) 54 59 07-16

Druckunterlagen an: GWP-Anzeigen, Vermerk: Spektrum der Wissenschaft, Kasernenstraße 67, 40213 Düsseldorf, Tel. (02 11) 8 87-23 87, Fax (02 11) 37 49 55
Anzeigenpreise: Zur Zeit gilt die Anzeigenpreisliste Nr. 22 vom 1. Januar 2001.

Gesamtherstellung: VOD – Vereinigte Offsetdruckereien GmbH, D-69214 Eppelheim

ISSN 0170-2971

Ein Teil unserer Auflage enthält Beilagen von Humanitas Buchversand, Spotlight Verlag, Wissenschaft Online, VDI-Nachrichten und TA-Media AG Spick. Wir bitten unsere Leser um Beachtung.

SCIENTIFIC AMERICAN
415 Madison Avenue, New York, NY 10017-1111
Editor in Chief: John Rennie, Publisher: Denise Anderman, Associate Publishers: William Sherman (Production), Lorraine Leib Terlecki (Circulation), Chairman: Rolf Grisebach, President and Chief Executive Officer: Gretchen Teichgraeber, Vice President: Frances Newburg

NOBELPREIS FÜR PHYSIK

Ein makroskopisches Objekt aus der Quantenwelt

Ein millimetergroßes Gaswölkchen, in dem alle Atome einen einzigen Quantenzustand bilden – für die Herstellung eines solchen „Bose-Einstein-Kondensats“ im Labor erhielten zwei Amerikaner und ein Deutscher nun den Nobelpreis.

Von Michael Springer

Am Anfang war die Theorie – und erst siebzig Jahre später folgte die Realisierung durch das Experiment. Im Jahr 1924 sandte der junge indische Physiker Satyendra Nath Bose dem weltberühmten Albert Einstein einen Brief mit mathematischen Berechnungen. Darin leitete er die von Max Planck im Jahre 1900 gefundene Strahlungsformel – gewissermaßen die Geburtsurkunde der Quantenphysik – auf originelle Art her, nämlich mit den Mitteln der statistischen Wärmelehre: Die Lichtquanten wurden als Gas aus identischen Teilchen behandelt. Einstein sorgte für eine Veröffentlichung und verallgemeinerte in einer Folgepublikation Boses Ansatz für Materieteilchen, die – anders als Strahlungsquanten – nicht so ohne weiteres emittiert und absorbiert werden können.

Einstein fragte sich, was aus einer gegebenen Menge ununterscheidbarer Partikel bei Annäherung an den absoluten Nullpunkt wird. Antwort: Sie sind alle bestrebt, das tiefstmögliche unter den quantisierten Energieniveaus zu besetzen, finden sich am Ende also samt und sonders in einem einzigen Quantenzustand zusammen. Diese so genannte Bose-Einstein-Kondensation war jahrzehntelang ein rein theoretisches, niemals in Reinkultur beobachtetes Phänomen. Wohlgemerkt resultiert sie nicht etwa aus einer Anziehung zwischen den Teilchen; es ist dabei überhaupt keine klassische Kraft im Spiel – weder eine Fernwirkung wie die Gravitation noch ein Feld wie der Elektromagnetismus. Es handelt sich um ein reines Quantenphänomen.

Wenig später erkannten andere Theoretiker, dass solche Effekte von einer charakteristischen Quantengröße abhängen, dem Teilchenspin. Ist er ganzzahlig, so spricht man von Bosonen; zu ihnen gehören etwa die Lichtquanten, da sie Spin eins haben. Solche Teilchen können sich in beliebigen Mengen im selben Zustand zusammendrängen. Hingegen gehorchen Partikel mit halbzahligem Spin – Protonen, Elektronen und andere Materiebausteine – einer völlig anderen „Quantenstatistik“. Diese Fermionen – nach dem italienischen Physiker Enrico Fermi – meiden einander; wie Wolfgang Pauli einst erkannte, ist es ihnen sogar regelrecht verboten, exakt den selben Quantenzustand einzunehmen.

Wie wir heute wissen, wirkt diese Zweiteilung als fundamentales Ordnungsprinzip: Die Fermi-Statistik garantiert, dass die Elektronen im Atom unterschiedliche Energieniveaus besetzen, und bewirkt so letztlich die Stabilität und Vielfalt der chemischen Elemente. Die Bose-Statistik hingegen ermöglicht den unerschöpflichen Reichtum gleichartiger Kraftquanten; zum Beispiel vermitteln Lichtquanten die elektromagnetische Wechselwirkung.

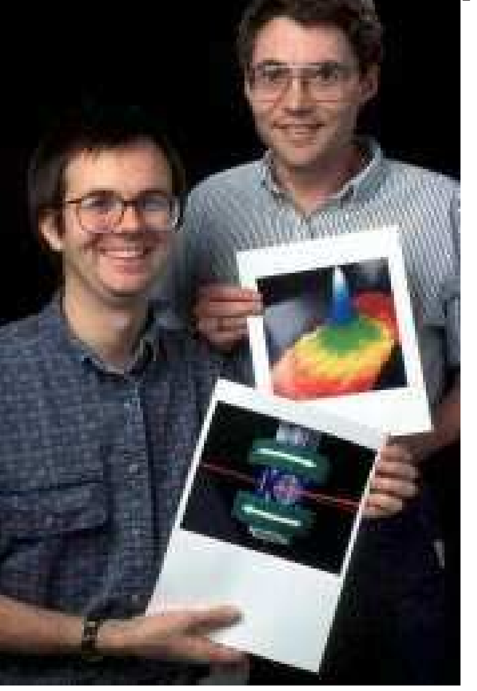
Erst als Physiker im Labor dem absoluten Nullpunkt durch extreme Kühlung immer näher kamen, wagten sie daran zu denken, ein Bose-Einstein-Kondensat experimentell zu erzeugen. Dafür musste ein verdünntes Gas von Bose-Teilchen – Atomen mit ganzzahligem Gesamtspin – auf weniger als ein millionstel Kelvin gekühlt werden – millionenfach kälter noch als der eisigste Winkel des interstellaren Weltraums. In ihrem Artikel über die Bose-Einstein-Kondensation für Spektrum der Wissenschaft (5/98, S. 44) haben die diesjährigen Nobelpreisträger Eric A. Cornell, Jahrgang 1961, und Carl E. Wieman, Jahrgang 1951, diese unglaubliche Leistung durch ein 4000 Kilometer langes Thermometer veranschaulicht, das die gesamte Breite des nordamerikanischen Kontinents von Los Angeles bis New York überspannt. Würde die gigantische Quecksilbersäule bei Los Angeles Zimmertemperatur von rund 300 Kelvin anzeigen, so träte die Bose-Einstein-Kondensation erst bei Bruchteilen eines Millimeters westlich des absoluten Nullpunktes im Zentrum von New York ein.

Das Kunststück gelang durch eine geschickte Kombination von Laserkühlung, Magnetfalle und Verdunstungskühlung: Zunächst bremste man die Atome mit gekreuzten Laserstrahlen fast bis zum Stillstand ab, dann übernahmen Magnetfallen die Wärmeisolation, bevor durch Verdunstung – Freilassen der schnellsten und somit „wärmsten“ Atome – die Temperatur der verbliebenen Gasteilchen noch weiter abgesenkt wurde.

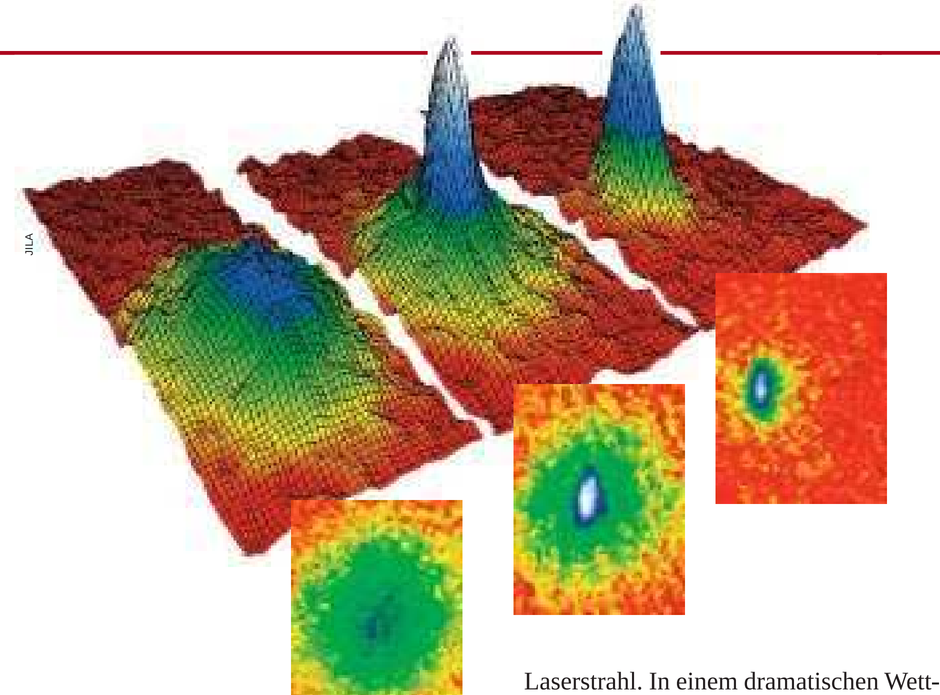
Realisierten einen vor siebzig Jahren von Albert Einstein vorhergesagten exotischen Materiezustand: Eric A. Cornell (Mitte) und Carl E. Wieman (rechts außen) vom JILA in Boulder (Colorado) und Wolfgang Ketterle (unten) vom Massachusetts Institute of Technology (MIT).



DPA



DPA



Die mittels Laserblitzen aufgenommenen Schattenbilder einer Bose-Einstein-Kondensation zeigen die Geschwindigkeitsverteilung in der gekühlten Gaswolke farbcodiert (unten) oder zusätzlich dreidimensional (oben); von rot nach weiß nimmt jeweils die Dichte der Atome zu und ihre Bewegung ab. Vor der Bildung des Kondensats, bei rund 200 milliardstel Kelvin (links), sind die Geschwindigkeiten noch recht gleichmäßig verteilt. Bei 100 milliardstel Kelvin (Mitte) hat sich ein Bereich fast ruhender Atome im Zentrum gebildet, und bei weiterer Kühlung bleibt nur noch dieses Quantenobjekt übrig (rechts).

Aussichtsreichster Kandidat schien zunächst atomarer Wasserstoff zu sein, dessen zwei Fermiteilchen Proton und Elektron – je Spin $+^1/_2$ – zusammen ein Bose-Teilchen mit Spin 0 oder 1 bilden. Seit Ende der siebziger Jahre versuchten Daniel Kleppner am Massachusetts Institute of Technology (MIT) sowie eine holländische Gruppe in Amsterdam, Wasserstoff-Kondensate zu bilden. Zwar blieben diese Versuche lange Zeit erfolglos, doch wurde dabei die Methode der Kühlung immer mehr perfektioniert.

Schließlich beschloss Wieman am JILA (dem früheren Joint Institute of Laboratory Astrophysics) in Boulder (Colorado), statt Wasserstoff Rubidium-87 zu verwenden, ein Alkaliatom mit bosonischem Verhalten. Sein Kollege Cornell – wie Wieman ein Schüler von Kleppner – entwickelte ein rotierendes Magnetfeld für die Magnetfalle; damit lässt sich verhindern, dass die Atome aus dem Zentrum der Falle diffundieren, wo das Feld verschwindet. Im Juni 1995 waren diese Versuche erstmals von Erfolg gekrönt: Rund hunderttausend Atome bildeten sekundenlang ein Bose-Einstein-Kondensat – ein Quantenobjekt mit den vergleichsweise gigantischen Ausmaßen von einem zehntel Millimeter.

Ein Laser aus Atomen

Der 1957 in Heidelberg geborene und 1986 am Garchinger Max-Planck-Institut für Quantenoptik promovierte Wolfgang Ketterle arbeitete am MIT mit einem anderen Alkaliatom: Natrium-23. Statt eine rotierende Falle zu verwenden, verstopfte er das „Loch im Magnetfeld" mit einem Laserstrahl. In einem dramatischen Wettlauf mit Wiemans Gruppe in Boulder war er nur wenige Monate später ebenfalls erfolgreich und brachte es schließlich sogar auf Kondensate aus zehn Millionen Atomen.

Da die Atomwolke einen kollektiven Zustand einnimmt, ist sie „kohärent" wie die Photonen in einem Laser: Sie besteht gemäß dem Welle-Teilchen-Dualismus aus Materiewellen, die gewissermaßen im Gleichtakt schwingen. Dies hat Ketterle nachgewiesen, indem er ein Kondensat in zwei Teile spaltete, die sich dann wieder vereinigten und dabei die für Kohärenz charakteristischen Interferenzstreifen erkennen ließen.

In einem ähnlichen Versuch bohrte Theodor W. Hänsch – einer der „Väter" der Laserkühlung – an der Universität München mit Strahlen im Radiofrequenzbereich an zwei benachbarten Stellen sozusagen Löcher in die Falle, in der die Teilchen gefangen waren, und ließ Atomstrahlen entweichen. Sie zeigten gleichfalls deutliche Interferenz (Spektrum der Wissenschaft 7/2000, S. 23). In gewissem Sinne kann man das Kondensat daher als „Atom-Laser" bezeichnen.

Ein weiterer typischer Quanteneffekt, der die Kohärenz der tiefgekühlten Atome demonstriert, ist das Auftreten von Quantenwirbeln, die aus dem Studium von superfluidem Helium bekannt sind. Solche diskreten „Strudel" mit quantisiertem Drehimpuls haben sowohl Cornell und Wieman als auch Ketterle unterdessen in ihren Kondensaten erzeugt und nachgewiesen.

Derzeit erforschen mehr als zwanzig Gruppen kohärente Wolken aus Alkaliatomen. Aber auch mit Heliumatomen konnten die kollektiven Quantenzustände kürzlich von zwei Gruppen in Frankreich erzeugt werden. Dabei ermöglicht die wachsende Kunstfertigkeit im Umgang mit den Kondensaten nicht nur verblüffende Demonstrationen von Quanteneffekten. Auch technische Anwendungen zeichnen sich ab, etwa für hochpräzise Messungen, Quantencomputer oder die Lithographie miniaturisierter Schaltkreise mit kohärenten Atomstrahlen.

Auch die Experimente mit extrem verlangsamtem Licht, das in ultrakaltem und optisch modifiziertem Gas praktisch zum Stillstand gebracht werden kann (Spektrum der Wissenschaft 9/2001, S. 38), beruhen auf der Kühl- und Lasertechnik, die für die Bose-Einstein-Kondensation zur Perfektion entwickelt wurde. Und schließlich hat der exotische Quantenzustand vielleicht sogar Auswirkungen auf unser Bild vom Universum im Großen und Ganzen: Kürzlich spekulierte Wayne Hu von der Universität Princeton, dass die rätselhafte dunkle Materie, die rund neunzig Prozent der Masse im All ausmacht, als Bose-Einstein-Kondensat aus hypothetischen Teilchen sehr geringer Masse existieren könnte.

In den letzten Wochen ist es einem Team um Jakob Reichel und Hänsch zudem gelungen, mit einem zentimetergroßen Mikrochip ein Quantenkondensat in weniger als einer Sekunde zu erzeugen – die Nobelpreisträger hatten dafür immerhin fast eine Minute gebraucht. Das kohärente Gaswölkchen schwebt dabei nur wenige zehntausendstel Millimeter über der Chip-Oberfläche, auf der die Leiterbahnen die Felder einer winzigen Magnetfalle erzeugen. Die Forscher sind sogar in der Lage, das Gebilde mit einem „magnetischen Fließband" auf dem Chip zu verschieben. Die Fähigkeit, kohärente Quantenobjekte über längere Zeit zu konservieren und zu manipulieren, ist eine Voraussetzung für hypothetische Quantencomputer („Nature", Bd. 413, S. 498). ▶

Das Faszinierendste an der Bose-Einstein-Kondensation aber ist und bleibt, dass sie uns die sonst so paradox wirkende, extrem unanschauliche Welt der Quantenphysik wie unter dem Vergrößerungsglas vor Augen führt. Plastisch veranschaulicht sie ein Objekt, das lange nur mathematisch-abstrakt fassbar schien. Andererseits zeigt die enorme experimentelle Raffinesse, die dazu nötig ist, doch wieder, wie weit man dafür gehen muss – weit weg von unseren Alltagsbedingungen: Nicht einmal die Schwärze des Alls ist so kalt wie die experimentell fabrizierten Quantenkondensate. ■

Michael Springer ist promovierter Physiker und ständiger Mitarbeiter von Spektrum der Wissenschaft.

NOBELPREIS FÜR PHYSIOLOGIE ODER MEDIZIN

Geburtenkontrolle bei Zellen

Ungezügelte Vermehrung ist eines der wichtigsten Kennzeichen von Krebs. Was Zellen normalerweise unter Kontrolle hält, haben drei nun mit dem Nobelpreis ausgezeichnete Wissenschaftler in den letzten dreißig Jahren erforscht.

Von Olaf Fritsche

Bis zu hundert Billionen Zellen umfasst der menschliche Körper – allesamt Nachkommen einer einzigen befruchteten Eizelle. Schon bald nach der Befruchtung entstehen aus ihr zwei Tochterzellen, die sich kurz darauf selbst wieder teilen und so fort. Aus diesem ständigen Kreislauf von Wachstum und Teilung scheren später einige Zellen aus, wenn sie speziellere Aufgaben beispielsweise im Nervensystem oder der Skelettmuskulatur übernehmen. Andere durchlaufen dagegen immer wieder den so genannten Zellzyklus und bringen, solange der Mensch lebt, neue Zellen als Ersatz für alte hervor.

Dieser Prozess muss genau auf die Bedürfnisse des Gesamtorganismus abgestimmt sein: Läuft er zu langsam ab, ist der Bedarf an frischen Zellen nicht zu decken; ein ungehemmtes Wachstum könnte dagegen als bösartige Krebswucherung tödliche Folgen haben. Die drei mit dem Nobelpreis für Physiologie oder Medizin ausgezeichneten Wissenschaftler – Paul Nurse und Timothy Hunt vom Imperial Cancer Research Fund in London sowie Leland H. Hartwell vom Fred Hutchinson Cancer Research Center in Seattle – erforschten auf molekularer Ebene, wie der Zellzyklus gesteuert wird. Daraus ergaben sich auch wichtige Erkenntnisse darüber, wodurch er bei Krebs entgleist (Spektrum der Wissenschaft 5/1991, S. 126).

Der spektakulärste Teil des Zyklus ist sicherlich das Schauspiel vor der eigentlichen Zellteilung. Es lässt sich in groben Zügen direkt unter dem Lichtmikroskop mitverfolgen. So ist seit mehr als hundert Jahren bekannt, dass Zellen als Erstes ihre Chromosomen verdoppeln; dieses Stadium heißt heute S-Phase (nach „Synthese"). Die duplizierten Chromosomen hängen zunächst noch wie siamesische Zwillinge zusammen. Während der als Mitose bezeichneten Phase des Zellzyklus werden sie dann getrennt und in entgegengesetzte Richtungen gezogen. Kurz darauf teilt sich auch der Zellkörper: Die beiden Tochterzellen sind entstanden.

Schließlich verlieren die Chromosomen in den sich neu formierenden Zellkernen ihre kompakte Gestalt. Der für den Transport eng aufgewickelte „Erbfaden", das DNA-Molekül jedes Chromosoms, wird wieder entzwirbelt – bildlich gesprochen entnimmt die Zelle die Arbeitsunterlagen dem Aktenkoffer und breitet sie auf dem Schreibtisch aus.

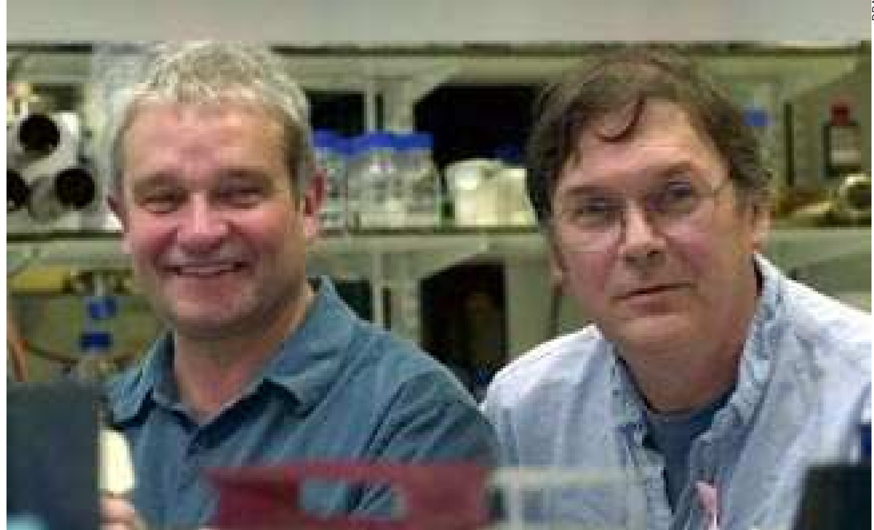
Die Mitose dauert nur etwa eine halbe bis drei Stunden. Die anschließende G1-Phase (nach englisch *gap*, Lücke) kann dagegen Tage, Monate oder Jahre währen. In dieser Zeit wächst die Zelle heran und erfüllt ihre Aufgaben. Wenn sie sich dann erneut teilt, verdoppelt sie in der S-Phase ihre DNA und bereitet in der nachfolgenden G2-Phase die nächste Mitose vor (siehe Kasten rechts oben).

Woher eine Zelle weiß, welchen Schritt sie wann einzuleiten hat und was



DPA

Erforschten die Steuerung der Zellvermehrung: Paul Nurse (unten links) und Timothy Hunt (unten rechts) vom Imperial Cancer Research Fund in London sowie Leland H. Hartwell vom Fred Hutchinson Cancer Research Center in Seattle (links).



DPA

Der Zellzyklus

DIMITRY SCHIDLOVSKY

Nach einer Zellteilung wachsen die Tochterzellen in der so genannten G1-Phase heran. Sind sie groß genug und kommt von außen ein entsprechendes Signal, lösen bestimmte Moleküle den Start einer weiteren Teilung aus. Zunächst verdoppelt die Zelle in der „S-Phase“ ihre DNA. Während der „G2-Phase“ überprüft sie, ob der Prozess fehlerfrei abgelaufen ist. Nur dann tritt der Zellzyklus in die Mitose ein, bei der die Zelle sich teilt. Wie die diesjährigen Medizin-Nobelpreisträger entdeckten, steuern Cycline und davon abhängige Kinasen diesen Zyklus.

dabei auf molekularer Ebene passiert, war lange ein Rätsel. Ende der 1960er Jahre begann Leland Hartwell, diese Fragen an einem einzelligen Organismus mit echtem Zellkern, der Bäckerhefe *Saccharomyces cerevisiae,* zu untersuchen. Diese Hefe hat den großen Vorteil, dass die diversen Schritte ihres Zellzyklus mit deutlichen Veränderungen ihrer äußeren Form einhergehen. Anders als die Zellen der meisten anderen Organismen teilt sie sich nicht mitten durch, sondern schnürt eine kleine, wie eine Knospe aussprossende Tochterzelle ab. Diese Knospe erscheint, wenn die Mutterzelle in die S-Phase eintritt. Außerdem sind Hefezellen viel leichter zu züchten als menschliche und in ihrer Biologie überschaubarer.

Mit seiner Wahl ging Hartwell jedoch ein großes Risiko ein; denn außer ihm glaubte damals kaum ein Forscher, dass sich Ergebnisse von so simplen Organismen auf Zellen von Mensch und Tier übertragen ließen. Mit seinen Versuchen an der Universität von Washington in Seattle begann deshalb auch erst die äußerst erfolgreiche Karriere von *S. cerevisiae* als Modellsystem für höhere Zellen.

In einer ganzen Reihe von Experimenten isolierte Hartwell Hefezellen, in denen Gene mutiert waren, die an der Kontrolle des Zellzyklus mitwirken. Auch damit leistete er Pionierarbeit; denn zu jener Zeit war es längst noch nicht üblich, die Vorgänge in Zellen mit genetischen Methoden zu ergründen – ein Ansatz, der heutzutage in unzähligen Laboratorien auf der ganzen Welt verfolgt wird.

Mehr als hundert zyklus-spezifische Erbfaktoren entdeckte der Amerikaner; er nannte sie *CDC*-Gene (für *cell division cycle,* Zellteilungszyklus*).* Eines davon, das mit der Nummer 28, erwies sich als eine Art Bindeglied zwischen dem Zustand im Zellkörper und den Vorgängen im Kern: Es kontrolliert den entscheidenden Schritt von der G1-Phase, in der die Zelle unter Umständen jahrelang bloß ihrer alltäglichen Arbeit nachgeht, hin zur S-Phase, in der sie die DNA verdoppelt. Weil *CDC28* gewissermaßen den Startschuss für die spätere Teilung gibt, erhielt es auch den Namen *start*.

Die Startlinie wird zugleich als Restriktionspunkt des Zellzyklus bezeichnet. Denn die DNA darf nur verdoppelt werden, wenn genügend Nährstoffe vorhanden sind und wenn bei mehrzelligen Organismen ein entsprechendes Signal von außen kommt. Der Restriktionspunkt gehört damit zu den „Check-Points“, die Hartwell bei seiner weiteren Arbeit fand. An diesen Kontrollstationen überprüft die Zelle, ob bis jetzt alles glatt verlaufen ist oder sich Fehler eingeschlichen haben. So prüft sie zum Beispiel während der G2-Phase, ob die Chromosomen auch wirklich alle erfolgreich verdoppelt wurden. Erst dann leitet sie die Mitose ein.

Der Brite Paul Nurse entdeckte ein für diesen Check-Point wesentliches Gen, das er *cdc2* nannte. Auch er arbeitete mit Hefepilzen, allerdings mit der Spalthefe *Schizosaccharomyces pombe,* die mit der Bäckerhefe nur entfernt verwandt ist und sich wie das Gros der Zellen in der Mitte teilt. Wie Nurse Mitte der 1970er Jahre zusammen mit David H. Beach an der Universität von Sussex in Brighton feststellte, war *cdc2* mit dem *CDC28* der anderen Hefe funktionsgleich. Das gesunde Spalthefe-Gen konnte nämlich bei einer Art Gentherapie die defekte Version des Bäckerhefe-Gens ersetzen. Ein Pendant isolierte Nurse 1987 sogar aus menschlichen Zellen.

Von der Hefe zum Menschen

Damit war klar, dass die Kontrolle des Zellzyklus in allen Nicht-Bakterien – von der Hefe bis hin zum Menschen – nach dem gleichen Schema abläuft. Offenbar hatte sich dieser wichtige Vorgang im Laufe der Evolution seit mehr als einer Milliarde Jahren bis auf wenige Details kaum verändert. Diese Erkenntnis veranlasste andere Wissenschaftler, sich ebenfalls Hefen als Modellorganismen zuzuwenden, was einen gewaltigen Wissensschub mit sich brachte.

Doch wie üben solche Zellzyklus-Gene ihren Einfluss aus? Wie Nurse und andere Forscher herausfanden, tragen sie den Bauplan für Proteine, die mit einer zusätzlichen Phosphatgruppe versehen werden können und ihrerseits andere Eiweißstoffe „phosphorylieren“. Die Phosphatgruppe wirkt als eine Art Schalter. Ohne sie kann ein Protein zum Beispiel aktiv sein und veranlassen, dass der Zellzyklus voranschreitet, indem es seinerseits Phosphat an seine Zielproteine hängt. Wird es dagegen selbst phosphoryliert, erlischt seine Macht. Etwa ein halbes Dutzend solcher Kinasen haben Wissenschaftler bis heute beim Menschen entdeckt.

Die Verantwortung in der Zelle lastet allerdings nicht alleine auf diesen Molekülen. In den frühen 1980er Jahren stieß Timothy Hunt von der Universität Cambridge in England bei sich entwickelnden Seeigeln auf Proteine, deren Konzentration im Laufe des Zellzyklus periodisch schwankt. Sind genug dieser Cycline, wie er sie taufte, vorhanden, verbinden sie sich mit den von Nurse entdeckten Kinasen, die deshalb den Namen CDKs erhielten – für *cyclin dependent kinases,* cyclinabhängige Kinasen. Erst dadurch werden die CDKs aktiviert und beginnen, bestimmte Zielproteine zu phosphorylieren. Welche das sind, hängt von dem Cyclin ab, das sich an sie geheftet hat.

Die Cycline aktivieren außerdem ein Enzym, das sie selbst während der Mitose abbaut. Auf diese Weise oszilliert ihre ▶

(Seiten 16 bis 21: Anzeige und Beihefter)

Menge, obwohl die Zelle die verschiedenen Typen von Cyclinen während des gesamten Zyklus herstellt; rund zehn sind den Forschern allein beim Menschen heute bekannt.

Es ist kein Zufall, dass alle drei Preisträger inzwischen seit vielen Jahren an Instituten arbeiten, die sich dem Kampf gegen Krebs verschrieben haben. Hartwell ist Präsident und Direktor des Fred Hutchinson Cancer Research Centers in Seattle, Nurse Generaldirektor des Imperial Cancer Research Fund in London und Hunt Leiter von dessen Cell Cycle Control Laboratory in South Mimms. Offensichtlich hängen Störungen des Zellzyklus ursächlich mit Krebs zusammen. So weiß man heute, dass Gene für CDK-Moleküle und Cycline als Onkogene selbst Krebs auslösen können, wenn etwas schief läuft. In Hirn- und Brusttumoren ist ihre Konzentration erhöht. Andererseits arbeiten sie interessanterweise mit Proteinen zusammen, die tumorunterdrückend wirken. Dieses komplizierte Netz von Wechselwirkungen und seine Verknüpfungen verstehen Wissenschaftler dank der richtungweisenden Arbeiten der drei Preisträger zunehmend besser. ■

Olaf Fritsche ist promovierter Biologe und arbeitet als freier Wissenschaftsjournalist in Heidelberg.

NOBELPREIS FÜR CHEMIE

Spiegelfechterei mit Molekülen

Die drei Preisträger entwickelten chemische Synthesen, die zwischen Bild und Spiegelbild unterscheiden können, und ermöglichten dadurch große Fortschritte bei der effizienten Produktion reiner, nebenwirkungsarmer Arzneimittel.

Von Werner Gans

Am 22. Mai 1848 präsentierte ein junger Mann von 26 Jahren vor der Pariser Académie des Sciences eine bemerkenswerte Entdeckung: Von manchen chemischen Verbindungen gibt es zwei spiegelbildliche Formen, die sich wie die rechte und die linke Hand zueinander verhalten. Der junge Mann hieß Louis Pasteur, und seine Beobachtungen hatte er an den Kristallen der Weinsäure gemacht. Die „Händigkeit" von Molekülen – oder fachsprachlich Chiralität, nach dem griechischen Wort *cheir* für Hand – hat weit reichende Folgen für Chemie, Biologie und Pharmazie. Schon Pasteur fand einen ersten Beleg dafür: Nur die aus der Fermentation stammende natürliche Weinsäure konnte Mikroorganismen als Nahrung dienen, das spiegelbildliche Molekül dagegen nicht.

Wie sich seither zeigte, sind die meisten Biomoleküle chiral – die Erbsubstanz DNA ebenso wie Enzyme, Antikörper, Hormone, Zucker und – mit einer Ausnahme – auch die 20 natürlich vorkommenden Aminosäuren. In jeder Stoffklasse hat sich die Natur dabei für eine der beiden spiegelbildlichen Formen oder – wie Chemiker sagen – Enantiomeren entschieden. So sind die Aminosäuren alle „linkshändig", die Zucker dagegen „rechtshändig". Warum das so ist, darüber wird immer noch spekuliert.

Im Gegensatz zu biologischen Umsetzungen liefern chemische Synthesen in der Regel ein 1:1-Gemisch der beiden spiegelbildlichen Moleküle: ein so genanntes Racemat. Das Verdienst der diesjährigen Nobelpreisträger für Chemie ist es nun, diese Beschränkung aufgehoben zu haben: Sie ersannen Methoden und entwickelten Verfahren, auch auf nicht-biologischem Wege Moleküle mit bestimmter Händigkeit – also reine Enantiomeren – zu erzeugen.

Warum ist diese Leistung so bedeutsam, dass sie mit dem Nobelpreis gewürdigt wurde? Der Grund liegt im Wirkungsmechanismus der meisten Arzneimittel: Sie beeinflussen die Krankheit dadurch, dass sie sich an spezielle Strukturen – so genannte Rezeptoren – an der Oberfläche oder im Inneren einer Zelle oder eines Erregers anlagern. Diese Zielstrukturen sind aber in aller Regel chiral, und wie die rechte Hand nur in den rechten Handschuh passt, kann meist nur ein Enantiomer an einen bestimmten Rezeptor andocken; das andere ist bestenfalls nutzlos, schlimmstenfalls schädlich.

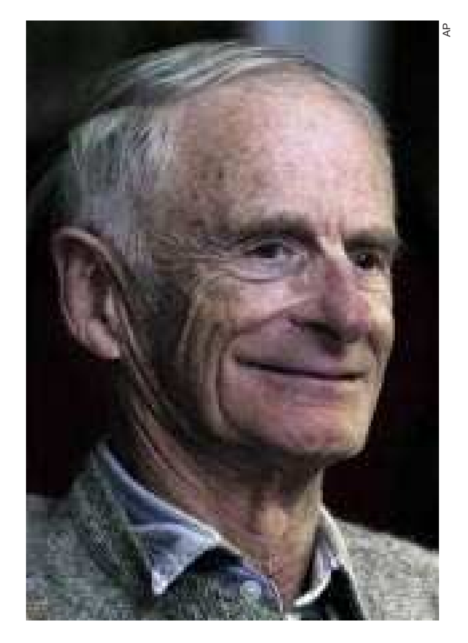
Die Contergan-Katastrophe Ende der 1950er bis Anfang der 1960er Jahre demonstrierte dies auf tragische Weise. Hauptbestandteil des Schlafmittels Contergan, das damals schwangeren Frauen gegen morgendliche Übelkeit verschrieben wurde, war der chirale Wirkstoff Thalidomid. Er lag als Racemat vor: als Gemisch der beiden Enantiomeren. Wie sich zu spät herausstellte, verursachte das eine davon schwere Missbildungen an Feten.

Eine Möglichkeit, zu reinen Enantiomeren zu gelangen, besteht darin, das Racemat nachträglich mit weiteren Methoden zu trennen. Das ist jedoch sehr mühsam, denn die beiden spiegelbildlichen Komponenten unterscheiden sich nicht in ihren gewöhnlichen physikalischen und chemischen Eigenschaften. Außerdem bedeutet es eine grobe Verschwendung, da das falsche Enantiomer – mindestens die Hälfte des Produkts – gleich wieder in den Abfall wandert. Pasteur gelang die Trennung, weil die Weinsäure zu den seltenen Verbindungen gehört, deren Enantiomeren spiegelbildliche Kristalle bil-



Zwei rechte Hände passen besser zueinander als eine rechte und eine linke. Analog müssen Arzneimittel die richtige „Händigkeit" haben, um mit ihren Zielmolekülen im Körper optimal zu interagieren.

KÖNIGLICH-SCHWEDISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN





Eröffneten der pharmazeutischen Industrie Wege zur selektiven Herstellung von Wirkstoffen mit der richtigen „Händigkeit“: William Knowles (links), ehemals bei der Firma Monsanto, Ryoji Noyori (Mitte) von der Universität Nagoya (Japan) und Barry Sharpless (rechts) vom Scripps-Forschungsinstitut in La Jolla (Kalifornien).

den können. Mit bewunderswerter Geduld sortierte er diese von Hand unter dem Mikroskop.

Für die Natur sind „stereoselektive“ Synthesen, die statt racemischen Gemischen nur die erwünschten Enantiomeren in Reinform liefern, kein Problem. Sie benutzt dazu Enzyme. Deren industrielles Gegenstück sind in gewisser Weise Katalysatoren; sie beschleunigen chemische Reaktionen oder machen sie überhaupt erst möglich, ohne selbst verbraucht zu werden. Zu Beginn der Sechzigerjahre begaben sich die Chemiker deshalb auf die Suche nach Katalysatoren, die ähnlich stereoselektiv wirken wie Enzyme. Diese mussten, so viel war klar, ihrerseits chiral sein. Den damals gebräuchlichen Katalysatoren, die in fester Form – meist als Teilchen – vorlagen, ließ sich jedoch schwerlich eine Händigkeit aufprägen.

Die bei weitem wichtigste Sorte chiraler Moleküle enthält (mindestens) ein asymmetrisches Kohlenstoffatom, dessen vier „Bindungsarme“ alle eine andere chemische Gruppe tragen. Zur Synthese solcher Substanzen eignen sich ungesättigte organische Verbindungen, so genannte Olefine, die zwei durch eine Doppelbindung verknüpfte Kohlenstoffatome enthalten (Bild Seite 24). An diese beiden Atome lässt sich – unter Bruch der Doppelbindung – beispielsweise je ein Wasserstoffatom anlagern. Geschieht die Anlagerung auf der Oberseite des ebenen Olefins, entsteht ein anderes Enantiomer, als wenn sie auf der Unterseite erfolgt. Dieser Vorgang heißt asymmetrische Hydrierung und stand lange auf der Wunschliste der chemischen Industrie.

Im Jahre 1968 schaffte einer der diesjährigen Laureaten den Durchbruch. Dazu griff der damals 51-jährige William Knowles bei der Firma Monsanto auf zwei kurz zuvor gemachte Entdeckungen zurück. Zum einen war es gelungen, ein lösliches Molekül zu finden, das die Hydrierung ebenso wirksam beschleunigte wie die bis dahin benutzten Feststoffe. Es handelte sich um einen so genannten Übergangsmetallkomplex: Bei dieser Art von Substanzen umgibt sich ein Metall aus einer Nebengruppe des Periodensystems (das „Zentralatom“) mit mehreren chemischen Gruppen (den „Liganden“) und bindet sie über „Nebenvalenzen“ in einer bestimmten geometrischen Anordnung (Oktaeder, Tetraeder, Quadrat, Pyramide und Ähnliches). Zugleich hatten andere Forscher Möglichkeiten entdeckt, chirale Moleküle zu erzeugen, die als Liganden für diesen Komplex in Frage kamen und diesem damit auch eine Händigkeit verleihen konnten.

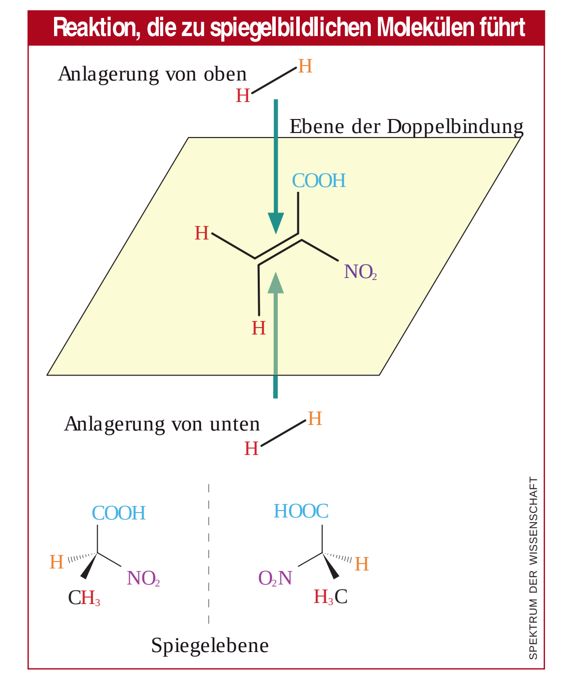
Erfolg bei einem Wirkstoff gegen die Parkinson-Krankheit

Obwohl der Komplex, den Knowles in einem ersten Versuch verwendete, nicht ausschließlich aus einem Enantiomer bestand, sondern noch eine größere Menge des anderen als „Verunreinigung“ enthielt, lieferte er eines der beiden spiegelbildlichen Hydrierungs-Produkte in 15-prozentigem Überschuss. Damit war bewiesen, dass das Prinzip funktioniert. Ermutigt von diesem Erfolg, machten sich Knowles und seine Mitarbeiter bei Monsanto daran, den Katalysator in größerer Enantiomeren-Reinheit zu gewinnen und durch Modifikation der Liganden zu verbessern. Lohn der Mühe war 1974 schließlich die erste stereoselektive industrielle Synthese. Mit ihr gelingt die Herstellung von L-Dopa, einem Wirkstoff gegen die Symptome der Parkinsonschen Krankheit; das spiegelbildliche D-Dopa ist unbrauchbar. (Die Symbole „D“ und „L“ leiten sich von lateinisch *laevus* für links und *dexter* für rechts ab.)

Allerdings taugte der Katalysator von Knowles nur zur Hydrierung ganz spezieller Olefine, die außer der Doppelbindung bestimmte andere chemische Gruppen enthalten mussten. In den Achtzigerjahren gelang es dann dem zweiten Preisträger, Ryoji Noyori von der Universität Nagoya (Japan), wesentlich breiter einsetzbare Varianten zu finden. Dazu gehörten auch Komplexe, die Ruthenium statt des von Knowles verwendeten Rhodiums als Zentralatom enthielten.

Bei seiner Arbei profitierte Noyori von den inzwischen gewonnenen genaueren Erkenntnissen über den Mechanismus, nach dem die stereoselektive Hydrierung abläuft. Bei jeder chemischen Reaktion führt der Weg zum Endprodukt über einen „energetischen Berg“, der einen Übergangs- oder Zwischenzustand repräsentiert. Ein Katalysator ebnet diesen Weg, indem er eine vorübergehende Bindung mit dem Übergangszustand ein- ▶

Reaktion, die zu spiegelbildlichen Molekülen führt



Bei der Hydrierung von Olefinen – Verbindungen mit Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindungen – können chirale Moleküle entstehen. Welche der beiden spiegelbildlichen Formen – fachsprachlich Enantiomeren – sich bildet (unten), hängt davon ab, von welcher Seite sich die beiden Wasserstoffatome an das ebene Olefin anlagern (oben). Den Nobelpreisträgern Knowles und Noyori gelang die Entwicklung von Katalysatoren, die dafür sorgen, dass die Anlagerung so erfolgt, dass nur das gewünschte Enantiomer entsteht.

geht und dessen Energie dadurch erniedrigt. Stereoselektive Katalysatoren sollten so beschaffen sein, dass sie möglichst nur den Energieberg für den Weg zu dem gewünschten Enantiomer und nicht zu seinem Spiegelbild erniedrigen; sie müssen also von den beiden Übergangszuständen den einen sehr viel besser stabilisieren als den anderen.

Noyoris vielseitigere Katalysatoren, die er auf dieser Basis entwickelte, ermöglichten unter anderem die industriell wichtige Herstellung von S-Naproxen, einem entzündungshemmenden Wirkstoff. Außerdem ließen sie sich so modifizieren, dass sie spezifisch auch Kohlenstoff-Sauerstoff- statt Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindungen hydrierten. Dies eröffnete den Weg zur Herstellung ungesättigter Alkohole, die zum Beispiel als Bausteine von Vitamin E dienen.

Statt Olefine mit Wasserstoff zu hydrieren, kann man sie auch durch Anlagerung von Sauerstoff oxidieren und dabei wiederum spiegelbildliche Produkte erhalten. Diese „Epoxidation“ spielt industriell ebenfalls eine wichtige Rolle. Dass man sie heute mit chiralen Katalysatoren stereoselektiv durchführen kann, ist das Verdienst des dritten Preisträgers: Barry Sharpless vom Scripps-Forschungsinstitut in La Jolla (Kalifornien). Interessanterweise verwendete Sharpless einen Titan-Komplex, dessen „händige“ Komponente aus der Links- oder Rechtsform der Weinsäure besteht: Ob der Sauerstoff eine Doppelbindung von oben oder von unten angreift, hängt davon ab, ob der Katalysator das Anion der D- oder L-Weinsäure enthält.

In industriellem Maßstab können auf diese Weise zum Beispiel Bausteine von Beta-Blockern (S- und R-Methylglycidol) synthetisiert werden, wichtigen Medikamenten gegen Bluthochdruck und Herzrhythmusstörungen. Leidtragender der stereoselektiven Oxidation ist dagegen der Schwammspinner. Er muss bei der Partnersuche seit einiger Zeit damit rechnen, auf künstliche Pheromone (Sexuallockstoffe) hereinzufallen, die dank der Sharpless-Reaktion großindustriell mit der richtigen Händigkeit hergestellt werden – ein wichtiger Beitrag zur Schädlingsbekämpfung.

Die chemische Industrie wurde in den letzten Jahrzehnten mit viel, teils berechtigter Kritik bedacht. Die Lektion des Contergan-Skandals hatte sie jedoch schnell gelernt und bei den jetzt mit dem Nobelpreis gewürdigten Arbeiten dafür gesorgt, dass der Weg von der akademischen Forschung zur industriellen Produktion sehr kurz war. Die Synthese von Wirkstoffen der richtigen „Händigkeit“ mit Verfahren, die wenig Abfall produzieren, dient jedenfalls gleichermaßen kranken Menschen wie der Umwelt. ■

Werner Gans *ist promovierter Chemiker und wissenschaftlicher Mitarbeiter bei der Freien Universität Berlin.*

NOBELPREIS FÜR WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN

Handel mit der Ungewissheit

Die drei Preisträger legten das Fundament zu einer allgemein gültigen Theorie über Märkte, bei denen die Parteien unterschiedlich genaue Informationen über die Qualität des Handelsguts haben.

Von Klaus Conrad

Bei einem Handel kennt oft die eine Partei die Qualität des Produktes oder der Dienstleistung genauer als die andere (Spektrum der Wissenschaft 4/1991, S. 48). George A. Akerlof, Jahrgang 1940 und seit 1980 Professor an der Universität von Kalifornien in Berkeley, analysierte als Erster, welch heikle Konsequenzen ein solcher Fall von „asymmetrischer Information“ für das Funktionieren des Marktes hat. Für diese Pioniertat wurde er jetzt mit dem Wirtschafts-Nobelpreis geehrt.

Als Beispiel wählte Akerlof den Gebrauchtwagenmarkt. Der Verkäufer eines Altautos kennt dessen Qualität genau; dagegen hat der Käufer nur geringe Möglichkeiten, Auskunft darüber zu bekommen (Probefahrt, Wartungsheft). Der Marktpreis für Gebrauchtwagen hängt daher von der Qualität eines durchschnittlichen Exemplars ab, das zum Kauf angeboten wird.

Nehmen wir an, die Besitzer guter Autos trennen sich nur von ihrem Fahrzeug, wenn sie mindestens DM 20000,- erhalten, wohingegen sich die Eigentümer schlechter Autos – Akerlof bezeichnete solche defekten Produkte mit hohen Reparaturkosten in seinem klassischen Artikel von 1970 als „*lemons*“ („Zitronen“) – schon mit DM 10000,- zufrieden geben. Die Käufer wären bereit, maximal DM 24000,- für einen einwandfreien fahrbaren Untersatz auszugeben und DM 12000,- für einen mangelhaften.

Bei vollkommener Information würden also gute Autos zu einem Preis zwischen DM 20000,- und DM 24000,- den Besitzer wechseln und schlechte für DM 10000,- bis 12000,-. Ein Tausch kommt zu Stande, und der Markt funktioniert.

Bei asymmetrischer Information erwartet der Käufer dagegen nur eine durchschnittliche Qualität. Entsprechend wird er höchstens DM 18000,- ausgeben, wenn er davon ausgehen muss, dass gute und schlechte Stücke gleich häufig, aber für ihn nicht unterscheidbar sind (0,5×

24000 + 0,5×12000). Die Besitzer mangelhafter Wagen würden damit überhöhte Preise erzielen, die Eigentümer guter Autos dagegen Verluste machen und ihre Fahrzeuge deshalb vom Markt nehmen. Das senkt die durchschnittliche Qualität und den Preis der verbliebenen Gebrauchtwagen.

Daraufhin ziehen sich auch Besitzer von Autos, deren Qualität über dem nun gesunkenen Mittelwert liegt, aus dem Markt zurück. Die Folge ist, dass durchschnittliche Güte und Preis der noch angebotenen Gebrauchtwagen weiter fallen. Diese Spirale setzt sich fort, bis nur noch Wagen der niedrigsten Qualitätsstufe zu einem entsprechend geringen Preis verkauft werden. Im Endergebnis haben schlechte Fahrzeuge die hochwertigen aus dem Markt gedrängt – ein als adverse Selektion (negative Auswahl) bezeichnetes Phänomen. Gute Wagen werden nicht gehandelt, obwohl es durchaus Käufer gäbe, die mehr dafür zahlen würden, als die Besitzer verlangen.

In seinen bahnbrechenden Arbeiten zeigte Akerlof auf, dass asymmetrische Informationen ein weit verbreitetes Problem sind. Wie er nachwies, lassen sich damit so unterschiedliche Missstände erklären wie die Wucherzinsen auf lokalen Kreditmärkten in Entwicklungsländern, die Schwierigkeiten Älterer, eine erschwingliche private Krankenversicherung abzuschließen, oder die Diskriminierung von Minderheiten auf den Arbeitsmärkten.

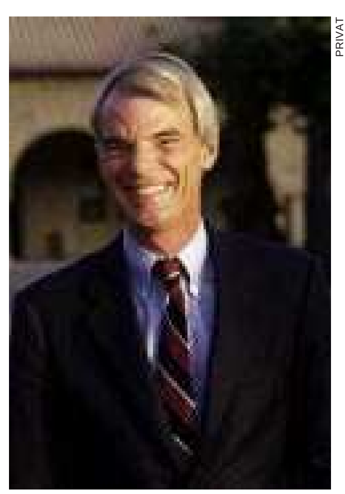
Glaubhafte Signale für Qualität

In vielen Fällen können allerdings die Anbieter eines Wirtschaftsgutes dem geschilderten Marktversagen erfolgreich entgegenwirken. Dies zeigte der zweite Laureat: A. Michael Spence, Jahrgang 1943 und von 1990 bis 1999 Professor an der Stanford-Universität (Kalifornien). Demnach unternimmt die besser informierte Marktseite große Anstrengungen, Qualität zu signalisieren. Der Besitzer eines guten Autos kann beispielsweise eine Gewährleistung über 20000 Kilometer oder eine Rücknahmegarantie geben. Dies ist ein glaubhaftes Signal und trennt die hochwertigen von den schlechten Gebrauchtwagen, weil deren Eigentümer sich hüten werden, für eventuelle Mängel einzustehen.

Mittlerweile haben sich viele Signale etabliert, welche die Informationsasymmetrie verringern. Dazu gehören Markennamen oder Ketten (von Kaufhäusern, Restaurants, Hotels und so weiter). Auch Werbung erfüllt letztlich eine Signalfunktion: Selbst wenn sie das Blaue vom Himmel verspricht, zeigt sie zumindest, dass der Anbieter sein Produkt schon erfolgreich unter die Leute gebracht hat; denn sonst könnte er sich die hohen Werbeausgaben nicht leisten. Auf dem Kapitalmarkt sollen Dividendenzahlungen Anleger davon überzeugen, dass der Vorstand die Gewinnentwicklung des Unternehmens positiv beurteilt.

Spence entwickelte seine Ideen über die Bedeutung von Signalen am Beispiel der Ausbildung und deren Kosten. Da der Personalchef die angeborenen Fähigkeiten eines Bewerbers nur schwer direkt erkennen kann, vertraut er auf Einstellungstests – und Ausbildung ist gewissermaßen ein solcher Test. Wer ein Diplom vorweisen kann, dokumentiert damit seine prinzipielle Eignung für anspruchsvolle Positionen, die entsprechend gut dotiert sind. Da weniger Talentierte zu hohe Ausbildungskosten (eine zu lange Studiendauer) hätten, werden sie das Signal nicht erwerben. Die Ausbildung und deren Kosten scheiden also die Begabten von den weniger Befähigten und überwinden damit das Problem der asymme- ▶







DPA PRIVAT DPA

Pioniere der Informationsökonomie: George A. Akerlof (links) von der Universität von Kalifornien in Berkeley, A. Michael Spence (Mitte), bis 1999 Professor an der Stanford-Universität, und Joseph Eugene Stiglitz (rechts) von der Columbia-Universität in New York.

trischen Information. Wenn allerdings bei niedrigen Ausbildungskosten alle das Signal (das Abitur oder ein Diplom) erwerben können, verliert es seinen Wert, weil es die beiden Gruppen nicht mehr separiert.

In seinem Grundmodell unterstellt Spence sogar, dass Ausbildung die Fähigkeiten nicht erhöhen muss, um als Signal erfolgreich zu sein. Sie zeige nur, dass der Bewerber eine Hürde genommen hat, die anderen zu hoch erscheint. In der Tat dürfte sich manch ein Bewerber mit Diplom an die Worte seines Chefs erinnern, er könne getrost alles vergessen, was er gelernt habe – er brauche diese Kenntnisse im Berufsleben ohnehin nicht. Demnach sind die Ausbildungskosten eigentlich eine Verschwendung volkswirtschaftlicher Ressourcen; dennoch müssen sie aufgebracht werden, um eine angeborene Fähigkeit zu signalisieren. Märkte können demnach erstaunlich ineffizient sein.

Der dritte Nobelpreisträger – Joseph Eugene Stiglitz, Jahrgang 1943 und seit 2000 Professor an der Columbia-Universität in New York – interessierte sich vor allem dafür, wie die schlechter informierte Partei sich an die Marktsituation anpassen kann. Paradebeispiel dafür sind Versicherungsunternehmen. Sie wissen sehr viel weniger als der Versicherungsnehmer über dessen Gesundheitszustand oder Risikotyp. Verlangen sie nun durchschnittliche Einheitsprämien, schließen Personen mit geringem Gefährdungsgrad eventuell keinen Vertrag ab, sondern tragen das Risiko lieber selbst. Die Versicherungsgesellschaft macht dadurch Verluste und muss die Prämie erhöhen. Das schreckt auch Personen mit etwas höherem, aber immer noch relativ niedrigem Risiko ab. Folglich muss die Prämie abermals erhöht werden – ein Teufelskreis wie bei den Gebrauchtwagen.

Eine restriktive Lösung ist die gesetzliche Pflichtversicherung für alle – in Deutschland etwa die Kranken-, Alters- und Arbeitslosenversicherung. Alternativ können die Versicherungen aber auch individuell zugeschnittene Verträge anbieten. Dazu brauchen sie freilich Informationen über die unterschiedlichen Risiken ihrer Kunden. So ist es beim Abschluss einer Kraftfahrzeugversicherung heute üblich, die Prämien anhand von überprüfbaren Angaben wie dem Vorhandensein einer Garage oder der jährlichen Kilometerleistung zu bemessen. Bei einer Auslandskrankenversicherung wird nach dem Alter gefragt oder bei einer Haftpflichtversicherung nach dem Beruf.

Wie Versicherungsnehmer ihr Risiko zwangsläufig verraten

Eine subtilere Strategie besteht darin, sowohl Verträge mit hoher als auch solche mit geringerer Prämie, aber einer Selbstbeteiligung an den Kosten im Schadensfall anzubieten. Versicherungsnehmer mit niedrigen und hohen Risiken offenbaren sich dann selbst. Erstere wählen den Versicherungsvertrag mit Selbstbeteiligung, da sie es für unwahrscheinlich halten, dass der Versicherungsfall eintritt, während Letztere die volle Abdeckung des Schadens beanspruchen.

Unter unzureichender Information leiden auch Kreditinstitute. Sie behelfen sich, wie Stiglitz darlegte, unter anderem durch Abweichung von dem ehernen Prinzip, wonach Angebot und Nachfrage den Preis einer Ware – in diesem Falle die Zinsen für einen Kredit – bestimmen. Bei erhöhter Nachfrage nach Krediten können die Banken nämlich nicht einfach den Preis (Zins) erhöhen, wie dies auf den Gütermärkten der Fall ist. Denn dann würden sie überwiegend Kreditnehmer anziehen, die sich von hohen Zinsen nicht abschrecken lassen, weil sie diese ohnehin nicht bezahlen können oder wollen. Deshalb rationiert die Bank lieber die Kredite und sichert sich im Einzelfall zusätzlich über Bürgschaften, Nebensicherheiten und Erfahrungen über die „Kredithistorie“ des betreffenden Kunden ab.

Bei der anwendungsorientierten Denkweise der diesjährigen Nobelpreisträger überrascht es nicht, dass sie mit einem Fuß in der Wirtschaft oder Politik stehen. Spence ist Partner von Technologiegesellschaften im Silicon Valley und trat 1999 als Dekan der Stanford Graduate School of Business zurück, um mehr Zeit für seine privatwirtschaftliche Tätigkeit zu haben. Stiglitz ließ sich 1992 von der Stanford-Universität beurlauben, wurde Wirtschaftsberater von Präsident Bill Clinton und war von 1995 bis 1999 Chefökonom der Weltbank.

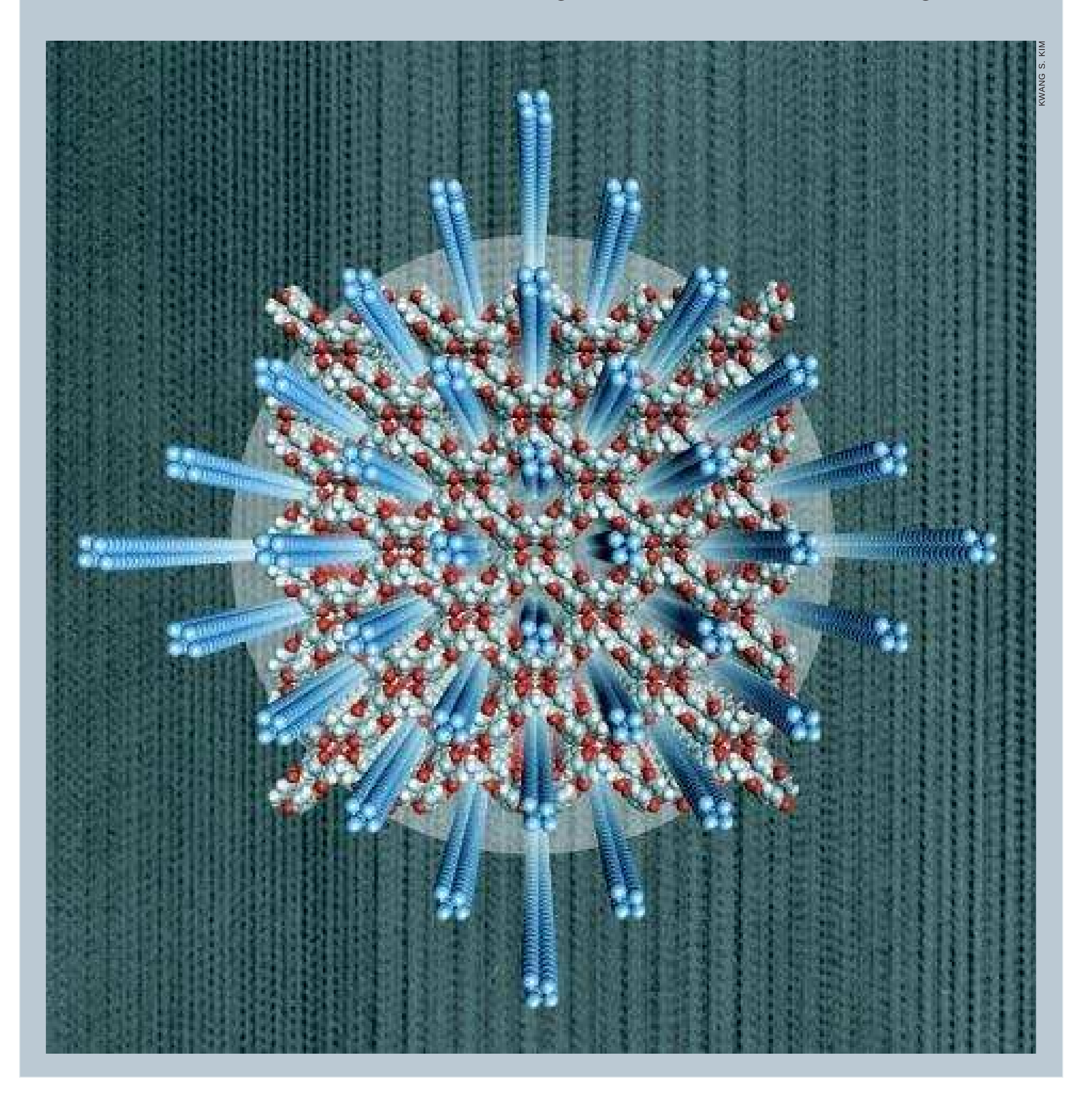
Elemente der Signaltheorie finden sich übrigens auch beim Wettbewerb der amerikanischen Spitzenuniversitäten um zahlungskräftige Studierende. Beispielsweise verkündet Stanford stolz, dass 16 Nobelpreisträger mit der Universität assoziiert sind – und signalisiert damit eine hohe Qualität ihrer Ausbildung. Allerdings übersieht die kalifornische Hochschule dabei geflissentlich, dass Spence seine Dissertation „Market Signaling“ (1974) an der Harvard-Universität in Cambridge (Massachusetts) geschrieben hat, wo er bis 1990 lehrte. Sein Doktorvater war Kenneth Arrow, der 1972 den Nobelpreis erhielt. Auch er verließ Harvard und erhöhte die Zahl der Nobelpreisträger in Stanford.

Als Trost und Ermutigung für junge Wissenschaftler sei noch am Rande erwähnt, dass die Studie von Akerlof über „The Market for Lemons“ von den Gutachtern zweier renommierter amerikanischer Fachzeitschriften abgelehnt wurde, bevor die Dritte sie schließlich veröffentlichte. ■

Klaus Conrad *ist Professor für Volkswirtschaftslehre, insbesondere Mikroökonomik an der Universität Mannheim.*

Nanosäulen aus Silber

Eine elegante Methode zur Herstellung einkristalliner Silberdrähte von nur 0,4 Nanometern Dicke und mehreren Mikrometern Länge haben Materialforscher um Kwang S. Kim an der Naturwissenschaftlich-Technischen Universität Pohang in Südkorea entwickelt. Das Metall wird dabei aus einer wässrigen Silbernitrat-Lösung in den röhrenartigen Poren eines künstlichen „Schwamms" abgeschieden, der zugleich als Reduktionsmittel wirkt. Der Schwamm bildet sich seinerseits durch Selbstorganisation aus Grundbausteinen, in denen jeweils vier sechseckige Hydrochinon-Moleküle zu einem Ring verknüpft sind. Die Silberdrähte – im Kugelmodell blau gezeichnet – liegen in einem äußerst dichten, regelmäßigen Gitter vor – im Hintergrund in einer rasterelektronischen Aufnahme dargestellt. Sie könnten als winzige Kontakte für nanoelektronische Schaltungen dienen.



KWANG S. KIM

ASTRONOMIE

Kosmischer Dynamo

Schwarze Löcher haben bislang den Ruf, gefräßige Monster zu sein, die alles in ihrer Nähe auf Nimmerwiedersehen verschlucken; nicht einmal Licht kann ihrer extremen Gravitation entfliehen. Nun scheint es aber, als käme aus ihnen doch etwas zurück: Energie. Das ergibt sich aus jüngsten Beobachtungen deutscher Wissenschaftler. Um das Schwarze Loch rotiert gewöhnlich eine Scheibe aus Staub und Gas und gibt dabei intensive Röntgenstrahlung ab. Deren Energie maßen Jörn Wilms von der Universität Tübingen und seine Kollegen bei einem supermassiven Loch im Zentrum der Spiralgalaxie MCG-6-30-15. Zu ihrer Überraschung war die Strahlung energiereicher, als sie Berechnungen zufolge sein sollte. Eine zusätzliche Energiequelle heizt offensichtlich das Gas auf. Eine mögliche Erklärung dafür liefert eine Theorie, die Roger Blandfort und Roman Znajek schon vor 25 Jahren aufgestellt haben. Demnach rotiert nicht nur die Scheibe aus Gas und Staub, sondern auch das Schwarze Loch selbst. Dabei gibt es wie ein Dynamo Energie ab, wenn es von einem starken magnetischen Feld gebremst wird. Diese Energie geht auf das umliegende Gas über und verstärkt dessen Röntgenstrahlung.



NASA

Rotierendes Schwarzes Loch spendet Energie.

SOZIALFORSCHUNG

Wie klein ist die Welt wirklich?

Die Welt ist ein Dorf", sagt man, wenn man beispielsweise im Urlaub neue Bekanntschaften schließt und feststellt, dass man gemeinsame Freunde hat. Im Jahre 1967 machte der Psychologe Stanley Milgram mit einer Studie Furore, aus der angeblich hervorging, dass zwei beliebige Menschen im Durchschnitt nur über sechs Bekanntschaften miteinander in Verbindung stehen. Nun wies Judith Kleinfeld von der Universität von Alaska in Fairbanks jedoch schwere Mängel in der damaligen Untersuchung nach, die deren Ergebnis praktisch entwerten. In Milgrams Experiment sollten zufällig ausgewählte Personen in Nebraska Briefe an ihnen unbekannte Menschen in Boston verschicken, von denen sie keine Adresse besaßen. Die meisten Schreiben erreichten dennoch ihr Ziel, indem sie jeweils an Bekannte weitergeleitet wurden. Die ausgewählten Personen bildeten jedoch keineswegs, wie von Milgram behauptet, einen repräsentativen Querschnitt der Bevölkerung. Vielmehr handelte es sich überwiegend um gut verdienende, sozial aktive Menschen, die sich mit ihrem großen Bekanntenkreis brüsteten. Die Anzahl der Versuchsteilnehmer war überdies zu klein, um repräsentativ zu sein, die Erfolgsquote von dreißig Prozent zu gering für die gezogenen Schlussfolgerungen. Kleinfeld vermutet, dass die Studie trotz dieser und anderer Mängel so dankbar angenommen und nie in Frage gestellt wurde, weil sie einer allgemeinen Sehnsucht entgegenkommt, in einer überschaubaren Welt zu leben.

PALÄONTOLOGIE

Riesenkrokodil mit Appetit auf Dinosaurier

Fische, Schildkröten und dann und wann ein kleiner Sauropode: So könnte der Speisezettel von *Sarcosuchus imperator* ausgesehen haben. Wissenschaftler um Paul Sereno von der Universität Chicago entdeckten jetzt in Niger die 110 Millionen Jahre alten Überreste des größten Krokodils, das jemals gelebt hat. Bereits 1964 waren vereinzelte Bruchstücke aufgetaucht. Doch erst der neue Fossilfund ermöglichte eine genauere Rekonstruktion. Allein der Schädel des gigantischen Reptils maß zwei Meter; insgesamt war es mit elf bis zwölf Metern so lang wie ein Reisebus und acht Tonnen schwer. Dabei hatte das gefundene Exemplar mit einem Alter von etwa vierzig Jahren seine volle Größe noch gar nicht erreicht; erst rund zwanzig Jahre später wäre es – so die Schätzung der Forscher – wirklich ausgewachsen gewesen. Überbiss und mehr als hundert Zähne lassen darauf schließen, dass das Riesenkrokodil auch Fleisch fraß – anders als seine nächsten Verwandten, *Pholidosaurus* und *Terminonaris*, die sich nur von Fischen ernährten. Ein knollenförmiger Knochenauswuchs am Ende der Schnauze gibt den Forschern noch Rätsel auf. Möglicherweise diente er zum Riechen oder zur Lauterzeugung. *(Science, in Druck)*



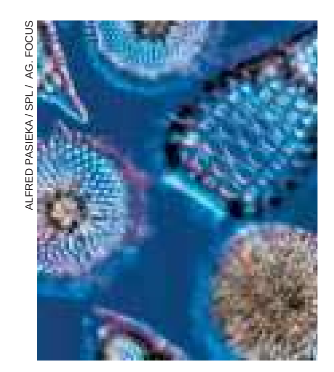
Ein Krokodil in Busgröße machte vor 110 Millionen Jahren den Niger unsicher.

NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

PHYSIK

Strom vom Meeresgrund

Am Meeresboden vor der Küste von New Jersey produziert „Oscar“ nun schon seit über sieben Monaten auf einem Quadratmeter Fläche etwa fünfzig Milliwatt elektrische Energie. Der *Ocean Sediment Carbon Aerobic Reactor* nutzt dabei eine natürliche Potentialdifferenz zwischen der Sedimentoberfläche und tieferen Schichten. Sie entsteht, weil die winzigen Organismen am Meeresgrund mit Hilfe von unterschiedlichen chemischen Reaktionen Energie gewinnen: Plankton im freien Wasser oder an den oberen Bodenschichten zersetzt organisches Material mit der Hilfe von Sauerstoff; Kleinstlebewesen in tieferen, sauerstoffarmen Sedimentbereichen sind dagegen auf Oxidationsmittel wie Nitrat oder Sulfat angewiesen. Leonard Tender vom US Naval Research Laboratory greift die resultierende elektrische Spannung einfach mit zwei Elektroden in unterschiedlicher Tiefe ab. Zwar ist diese Energiequelle zu gering, um einen nennenswerten Beitrag zur allgemeinen Stromversorgung zu leisten. Doch ließen sich Unterwasser-Sensoren und Sonargeräte damit antreiben, deren Batterien bislang regelmäßig ausgetauscht werden müssen.



ALFRED PASIEKA / SPL / AG. FOCUS

Submarine Spannungsquelle: Planktontierchen

CHEMIE

Untrüglicher Alterstest für Whisky

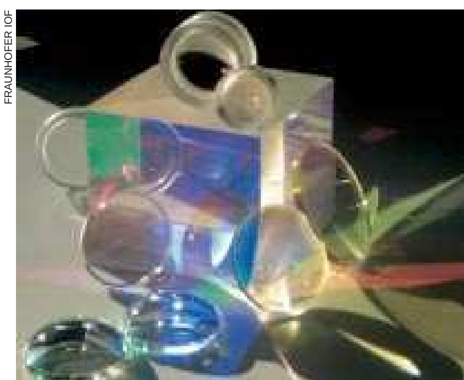
Mit jedem Jahr, das ein guter Scotch länger im Eichenfass lagert, verbessert sich sein Geschmack – und steigt sein Preis. Doch beim Alter mussten sich Händler und Käufer bislang weit gehend auf die Angaben des Herstellers oder ihren Gaumen verlassen. Zwar nimmt der Whisky desto mehr Gerbstoffe und organische Säuren aus dem Holz auf, je länger er im Fass reift. Bisher wurde jedoch nur der Anteil der Gallussäure gemessen, wenn es darum ging, das Alter auf chemischem Wege zu bestimmen. Da die Konzentration dieser Säure stark davon abhängt, aus welcher Eichenart das Fass besteht und wie lange es schon zur Lagerung dient, ist das Verfahren entsprechend ungenau. Ein neuer Farbtest liefert jetzt präzisere Werte. Sheryl Wiskur und Eric Anslyn von der Universität von Texas in Austin entwickelten ein Rezeptor-Molekül, das sich an sämtliche organischen Säuren bindet, die der Whisky beim Reifen aus dem Fass aufnimmt. Bei der Bindung setzt es einen Farbstoff frei, der den Scotch gelb färbt. Die Intensität der Färbung verrät dann, wie lange die Spirituose wirklich gelagert wurde. Die Forscher wollen als Nächstes auch das Alter von Barrique-Weinen auf ähnliche Weise bestimmen. *(Journal of the American Chemical Society, Bd. 123, S. 10109)*

SHERYL WISKUR

Wie lang ist dieser Whisky wirklich gereift? Ein neuer Test zeigt es.

MATERIALFORSCHUNG

Blendungsfrei und härter als Stahl



FRAUNHOFER IOF

Stahl kratzt sie nicht: Kunststofflinsen mit „AR-hard“-Beschichtung

Selbst wenn man die entspiegelten Kunststofflinsen des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Optik und Feinmechanik in Jena mit Stahlwolle putzt, bleibt die Oberfläche frei von Kratzern. Dafür sorgt eine neuartige Beschichtung namens „AR-hard“. Bisher erfolgten Härtung und Entspiegelung in zwei getrennten Schritten. Dabei musste aus optischen Gründen die Entspiegelungs- über der Härtungsschicht aufgebracht werden, was die Kratzfestigkeit begrenzte. Das neu entwickelte Verfahren kommt dagegen mit einem einzigen Überzug aus, der sowohl reflexionshemmend als auch härtend wirkt. Mit einer industrieüblichen Plasma-Beschichtungsanlage werden in einem Arbeitsschritt dicke Schichten aus hartem, niedrigbrechendem Quarz im Wechsel mit dünnen Lagen aus hochbrechendem Titan- oder Tantaloxid aufgetragen. Ein Lichtstrahl, der durch den beschichteten Kunststoff fällt, wird an den Grenzflächen teilweise reflektiert. Ist der Abstand richtig gewählt, löschen sich die Reflexe durch Interferenz aus: Die Brillengläser spiegeln nicht. Der Anzahl der Schichten sind keine Grenzen gesetzt: Je mehr man aufbringt, desto härter und blendungsärmer wird die Linse.

GENETIK

Sprach-Gen entdeckt?

Nur der Mensch kann Laute gezielt zu Wörtern und sinnvollen Aussagen kombinieren. Wieso? Nun haben britische Wissenschaftler erstmals ein Gen identifiziert, das anscheinend mit dem menschlichen Sprachvermögen zusammenhängt. Eine vererbbare Mutante davon tritt, wie Cecilia Lai und Anthony Monaco von der Universität Oxford feststellten, bei einer Londoner Familie auf. Fast die Hälfte ihrer Mitglieder aus drei Generationen hat trotz normaler Intelligenz Schwierigkeiten, Wörter korrekt auszusprechen und grammatikalisch richtig zusammenzufügen. Den Betroffenen fällt es zudem schwer, Lippen und Zunge in einer vorgegebenen Reihenfolge zu bewegen. Ein nicht verwandter Junge mit denselben Symptomen, bei dem eine entsprechende Mutation neu aufgetreten war, ermöglichte jetzt die Identifizierung des Gens. Es gehört zu einer Gruppe von Regulatoren, welche die Embryonalentwicklung steuern. Ist es defekt, enthält eine bestimmte Region im Vorderhirn – der Schweifkern oder *Nucleus caudatus* – anomal wenige Nervenzellen. Dort könnte also die Fähigkeit angesiedelt sein, Laute korrekt zu Wörtern und Sätzen aneinander zu reihen. Vielleicht beruht die Störung aber auch auf einem rein motorischen Defekt. *(Nature, Bd. 413, S. 519)*

Gifttod im Meer



Die meisten tropischen Fische in amerikanischen und europäischen Salzwasseraquarien wurden beim Fang mit Cyanid betäubt. Diese Praxis des Giftfischens bedroht mittlerweile einzigartige Korallenriffe.



MONTKOWSKI

Von Sarah Simpson

Cyanid kann Menschen binnen Minuten töten. Kaum ist das Gift im Körper, behindert es die Verwertung von Sauerstoff in den Geweben. In höheren Konzentrationen verlangsamt es den Herzschlag und blockiert unter anderem die Gehirntätigkeit. Seit Jahrzehnten wird dieses Gift beim Fang von Zierfischen in den Korallenriffen Indonesiens und der Philippinen verwendet. Die einheimischen Jäger betäuben ihre Beute damit, um sie leichter lebend zu fangen.

Die Auswirkungen für die Ökologie sind verheerend. Nach Schätzung von Experten tötet das Gift etwa die Hälfte der Fische schon am Riff, und von den Übrigen gehen vierzig Prozent ein, bevor sie überhaupt ein Aquarium erreichen (nicht zuletzt auf Grund der starken „psychischen“ und mikrobiellen Belastung durch enge Tierhaltung in der Handelskette, die mittels Sedativa und Antibiotika bekämpft wird). Dabei geht es um eine beträchtliche Zahl: Jährlich werden etwa 35 Millionen Fische aus diesen Lebensräumen gefangen und ein Großteil derjenigen, die in Salzwasseraquarien weltweit ankommen, stammen aus den beiden genannten Ländern. Laut Pro Wildlife e. V. stammen 23,4 Prozent der bis zu 100000 Tonnen jährlich nach Deutschland importierten Meerwasserfische aus Indonesien, 9,6 Prozent von den Philippinen.

Viele Meeresbiologen halten das Fischen mit Cyanid überdies für eine der größten Bedrohungen der Ökologie südostasiatischer Gewässer. Fast ein Drittel der Korallenriffe unseres Planeten befinden sich in dieser Region. Nirgendwo sonst ist die Vielfalt des marinen Lebens größer – zumindest heute noch. Zwei Studien aus dem vergangenen Jahr zufolge sind nur 4,3 Prozent der philippinischen und 6,7 Prozent der indonesischen Riffe in exzellentem Zustand. Dafür gibt es sicherlich weitere Gründe, wie das Fischen mit Sprengstoff oder den Eintrag von Sedimenten ins Meer infolge abgeholzter Urwälder. Doch Studien belegen: Cyanid schädigt auch die Korallen selbst, andere wirbellose Riffbewohner und wirtschaftlich uninteressante Fische.

Rund 35 Millionen Fische aus Korallenriffen werden jährlich in die ganze Welt verkauft. Diese Tiere fehlen im Ökosystem der philippinischen und indonesischen Gewässer; viele werden beim Fang mit Cyanid betäubt. Das Gift beschädigt auch die Korallenriffe.

Bedenkt man, dass Korallenriffe etwa zehnmal fischreicher sind als Küstengewässer und zwanzigmal produktiver als das offene Meer, wird offenkundig: Mit den Riffs schwinden auch die natürlichen Ressourcen der angrenzenden Länder. Erstaunlicherweise werden Korallenfische jedoch nicht durch internationale Gesetze geschützt. Ein Vorstoß deutscher Stellen Mitte der 90er Jahre, die Artenschutzverordnungen der Europäischen Union entsprechend zu verschärfen, scheiterte. Daraufhin musste die Bundesrepublik den Schutz der Korallenfische 1997 aus ihren eigenen Gesetzen streichen.

Fast zwanzig Jahre lang blieb es den exportierenden Staaten überlassen, das Problem in den Griff zu bekommen. Im Jahre 1975 erklärte ein Dekret des philippinischen Präsidenten das Fischen mit Cyanid für illegal, ebenso, es auf einem Boot mitzuführen oder Fisch zu verkaufen, der damit gefangen wurde. Zehn Jahre später folgten entsprechende Regelungen in Indonesien. Es gibt jedoch noch einige gesetzeskonforme Anwendungen für Cyanid, zum Beispiel bei der Extraktion von Gold aus Erz. Die Einfuhr des Giftes ist daher nicht reguliert. Neben politischen Streitereien erschweren Kriminelle und korrupte Regierungen die Durchsetzung der Verbote.

Eine internationale, nichtkommerzielle Organisation namens Marine Aquarium Council (MAC) entwickelt deshalb mit viel Engagement eine Methode, Importeure, Einzelhändler und Endkäufer in die Verantwortung zu nehmen. Für Europa wichtige Handelsorganisationen wie die Europe Ornamental Aquatic Trade Association (OATA) und die Ornamental Fish International (OFI) waren dabei von Anfang an mit im Boot. Kontakte bestehen auch zum europäischen Verband der Aquaristen (European Union of Aquarium Curators). Ob die Meereszierfische in den Fachgeschäften auf umweltverträgliche Art gefangen wurden, sollen die Kunden nachprüfen können.

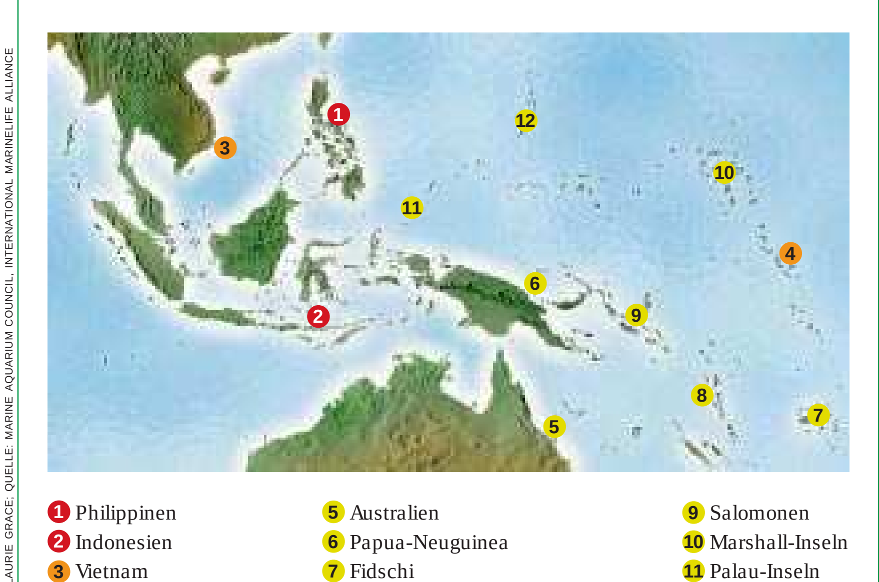
„In diesem Wirtschaftszweig hat es noch nie ein System gegeben, das umweltverträgliche Praktiken und Produkte definiert oder bestätigt“, erläutert Paul Holthus, der Geschäftsführer von MAC. „Anhand der Zertifikate ist der Käufer in der Lage, verantwortungsbewusste Lieferanten sozusagen zu belohnen.“

Weil sich nur eine Hand voll der begehrten Fische in Gefangenschaft züchten lässt, hängt die Zukunft der Meerwasser-Aquaristik davon ab, dass es weiterhin intakte Riffe geben wird. Bislang konnten die Einzelhändler aber nicht ein- ▶

Exporthochburg Südostasien

Etwa 85 Prozent der global gehandelten marinen Zierfische stammen von Korallenriffen der Philippinen und Indonesiens. Der Cyanid-Einsatz kam in den frühen 60er Jahren auf den Philippinen auf und erreichte etwa dreißig Jahre später das nördliche Indonesien.





1 Philippinen
2 Indonesien
3 Vietnam
4 Kiribati
5 Australien
6 Papua-Neuguinea
7 Fidschi
8 Vanuatu (Neue Hebriden)
9 Salomonen
10 Marshall-Inseln
11 Palau-Inseln
12 Guam

KARTE: LAURIE GRACE; QUELLE: MARINE AQUARIUM COUNCIL, INTERNATIONAL MARINELIFE ALLIANCE

mal die genaue Herkunft ihrer Ware vom Importeur erfragen.

Der Wirtschaftszweig war 1957 entstanden, als ein philippinischer Unternehmer die ersten lebenden Fische in einer Blechdose in die USA einführte. Seitdem haben Fänger über eine Million Kilogramm Cyanid auf den Riffen der Philippinen ausgebracht, schätzt die International Marinelife Alliance (IMA). Diese Organisation war 1985 eigens gegründet worden, um die Ausbreitung schädlicher Fischereipraktiken in der Region zu bekämpfen. Im Laufe der letzten 15 Jahre hat sie eine Million US-Dollar dafür ausgegeben, Fischer im Umgang mit Handnetzen zu schulen, der umweltverträglichen Alternative zum Gift. Doch dieses Training kann sich über Monate erstrecken, und solange die Fänger nicht mit dem Netz umgehen können, verdienen sie durch den Einsatz von Cyanid mehr Geld.

Als das Giftfischen in den späten 1980er Jahren in den USA bekannt wurde, beruhigten die Aquarianer ihr Gewissen mit der Mär, in den richtigen Konzentrationen angewandt sei Cyanid nur ein harmloses Betäubungsmittel. Die oft hohen Sterblichkeitsraten beim Transport schrieben sie der Empfindlichkeit der Tiere zu, die vielleicht zu lange Zeit in verschlossenen Plastikbeuteln und womöglich in Wasser schlechter Qualität zubringen mussten.

Mittlerweile erlauben Verbesserungen in der Aquarientechnik und der Tierhaltung immer mehr privaten Sammlern, Meerwasseraquarien mit unterschiedlichen Arten zu betreiben. In der Bundesrepublik boomt dieser Markt regelrecht. Nicht allein Fische werden nachgefragt, sondern auch Korallen, Anemonen und andere Riffbewohner. Die Konsequenz des wachsenden Marktes: Weil viele philippinische Riffe mittlerweile zerstört sind, erreichte das Cyanidfischen in den frühen 1990er Jahren die nördlichsten Inseln Indonesiens. Jüngsten Beobachtungen von IMA-Mitarbeitern zufolge sind auch schon Teile von Vietnam und Kiribati betroffen (siehe Karte).

Tödliche Jagd mit Cyanid

Jahrzehntelang fanden Naturschützer auf den Philippinen von Seiten der importierenden Länder wenig Rückendeckung. Genau diese Unterstützung bietet seit kurzem das Marine Aquarium Council. Im vergangenen Frühling stellte ein sechzigköpfiges Team aus Vertretern der Industrie, von Naturschutzorganisationen, staatlichen Stellen und der Wissenschaft erstmals Standards auf, wie die Riffe und ihr Fischbestand nachhaltig zu bewirtschaften seien. Ziel ist es, eine zuverlässige Überwachungskette aufzubauen, die vom Riff bis zum Kleinhändler bei jedem Zwischenschritt auf Einhaltung der Richtlinien achtet. Eine Gruppe vom MAC verbringt den Sommer damit, Fischer und Exporteure auf den Philippinen für diese Standards zu gewinnen, während eine andere in den USA und Europa um die Unterstützung von Importeuren und Einzelhändlern wirbt.

Ein Ausgangspunkt für eine solche „zertifizierte“ Handelskette könnte die Stadt Bagac sein, die rund 150 Kilometer westlich von Manila am südchinesischen Meer liegt. Von den 21000 Einwohnern sind immerhin 2500 Fischer, davon leben dreißig vom Zierfischfang. Bis vor sieben Jahren kannten diese Männer nur die Jagd mit Cyanid. Dann trafen sie Ferdinand Cruz von der philippinischen IMA, und seitdem arbeiten sie mit Netzen.

Cruz, der auch Mitglied des MAC ist, weiß, wovon er spricht, wenn er mit Fischern verhandelt. Er selbst hatte 1984 mit Familienmitgliedern ein Exportunternehmen für Aquarienfische gegründet. Schon bald verwunderte ihn die hohe Sterberate der Tiere. „Wir dachten zuerst, es läge an unserer Anlage“, erinnert sich Cruz. Als er seine Fischfänger aufsuchte, versteckten sie ihr Cyanid, da dessen Einsatz bereits illegal war. Einige gaben zu, die Substanz zu benutzen, erklärten die Methode aber für harmlos.

Doch davon war Cruz nicht überzeugt. Er fuhr mit aufs Meer und sah, wie viele Fische durch das Gift eingegangen waren. „Sechs Monate später bemerkte ich zudem, dass die betreffenden Riffe starben und voller Algen waren“, sagt er. Einige Jahre lang bemühte sich Cruz, sein Geschäft „Cyanid-frei“ weiterzuführen, 1993 gab er auf und begann seine Arbeit bei der IMA. Seitdem hat er geholfen, rund 2500 von den schätzungsweise 4000 philippinischen spezialisierten Fischern zu schulen. Er bringt ihnen bei, Fangnetze in Schluchten und Spalten zwischen den Korallenköpfen aufzuspannen und dann die Fische hineinzutreiben. Wie die meisten Fischfänger atmen auch die Philippinos unter Wasser durch lange, flexible Plastikschläuche, die Hookahs genannt werden. Für gewöhnlich pumpt ein alter Kompressor an Bord des Fischerbootes Frischluft in die

MONTKOWSKI

Lebensraum Riff: Jahrzehntelang fanden Naturschützer wenig Rückendeckung für ihre Kritik am Cyanidfang. Jetzt hat ein Umdenken begonnen.

Tiefe. Der Taucher hält den Hookah zwischen den Zähnen und nutzt oft seinen Atem, um Fische aus ihren Nischen in den Korallen in das Netz zu pusten.

Geübte Netzfischer sind für den nachhaltigen Handel mit Aquarienfischen unverzichtbar. Aber auch den Exporteuren fällt im Plan des MAC eine Schlüsselrolle zu. Sie sind die nächste Stufe in der Handelskette. Die meisten von ihnen haben ihren Sitz in Manila. Normalerweise schwimmen in ihren Wasserbecken Fische, die mit unterschiedlichen Methoden und in verschiedenen Teilen des Landes gefangen wurden, darunter viele Cyanid-Opfer. Damit ein Zertifikat Sinn macht, müssen die Lieferungen der Netzfischer separat gehalten werden.

In den Lagerhallen gibt es mittlerweile auch Laboratorien für chemische Analysen von Stichproben. 1991 schloss das philippinische Ministerium für Fischerei und aquatische Ressourcen mit der IMA einen entsprechenden Vertrag; bis zu Beginn dieses Jahres hatten landesweit sechs Laboratorien über 32 000 Fische untersucht. Dazu müssen die Tiere allerdings getötet werden. Chemiker begutachten und wiegen jedes einzelne und zerkleinern es dann in einem Mixer. Den Brei destillieren sie in einer starken, heißen Säure, sodass alles Cyanid als Blausäuregas freigesetzt wird. Eine Lösung von Natriumhydroxid fängt es auf, und selektive Elektroden messen den Gehalt an Cyanid-Ionen in der Lösung. Daraus ergibt sich die Konzentration des Stoffes in Teilen pro Million (ppm, parts per million). Zwischen 1996 und 1998 sank der Anteil der durch Cyanid vergifteten Fische von 43 auf 8 Prozent – ein Zeichen für die Wirksamkeit der IMA-Anstrengungen.

Netzfang als ökologische Alternative

Dieses gute Ergebnis macht den Beteiligten Mut, dass sich die entwickelten Standards sehr viel leichter auf Hawaii, Australien und andere Export-Regionen, wo Restriktionen bereits bestehen, übertragen lassen. Die nächste Stufe der Handelskette bilden Importeure und Einzelhändler. Sie sollten beim Einkauf Fische mit Zertifikat wählen und ihre Geschäfte nach den Richtlinien des MAC abwickeln. Das sollte dann auch den notwendigen Druck erzeugen, den Cyanid-Einsatz in Indonesien einzudämmen, wo bislang nur wenige Fischer das Jagen mit Netzen gelernt haben.

Peter R. Rubec, der zusammen mit Pratt die IMA gegründet hat und nun als Biologe mit der Universität von Südflorida in St. Petersburg zusammenarbeitet, hofft, dass die Bemühungen von IMA und MAC „den notwendigen wissenschaftlichen Nachweis liefern werden, um die Industrie endlich zu überzeugen: Netzgefangene Fische sind eine echte ökonomische Alternative zu cyanidgefangenen“. Manche Einzelhändler sind sich da nicht so sicher, denn die Konkurrenz ist groß, und der Markt würde keine steigenden Preise akzeptieren.

Paul Holthus von der MAC hofft hingegen, dass die Zertifizierung das Gewerbe letztlich nicht mehr kosten wird. Denn auf der anderen Seite sollte das reduzierte Fischsterben die Ausbeute steigern: Die MAC-Standards verlangen, dass maximal ein Prozent jeder Fischart pro Stufe der Handelskette eingeht. Nach Peter R. Rubec sterben jedoch derzeit vermutlich über zehn Prozent der mit Cyanid gefangenen Fische.

Außerdem wächst der Wert der Fische entlang des Handelsweges rapide. Ein orange-weiß-gestreifter Clownsfisch, der einem philippinischen Fänger etwa zehn Cent einbringt, kostet in den USA mindestens 25 Dollar, in der Bundesrepublik ist er für etwa zwanzig Euro zu haben. Bei dieser Gewinnspanne, so argumentieren Rubec und andere, sollte die Industrie einen Teil der zusätzlichen Kosten durch die Zertifizierung auffangen können. Derzeit kommen in den USA die ersten Fische mit Zertifikat in den Handel (in Deutschland ist der Qualifizierungsprozess gerade erst angelaufen). Aber es wird eine Weile dauern, bis die MAC-Standards greifen werden – für



Wie Cyanid tötet

Giftige Fischzüge: leichte Beute, schwere Schäden

Cyanid-Fischer wollen ihre Beute mit dem Gift nur betäuben, um sie so einfacher einsammeln zu können. Doch in vielen Fällen sind die Folgen wesentlich weitgehender. Nach Schätzungen stirbt die Hälfte der betroffenen Fische gleich auf dem Riff, und viele weitere verenden auf dem Transportweg.

Für einen typischen Fischzug lösen die Taucher ein oder zwei weiße Tabletten Natriumcyanid in einer Plastikflasche auf. Die milchige, blausäurehaltige Flüssigkeit verteilen sie direkt auf die Korallen, in denen sich die Fische versteckt halten. Durch ihr Maul oder die dünne Haut ihrer Kiemen nehmen die Tiere die Cyanid-Ionen auf. Sobald das Gift im Körper ist, hemmt es Enzyme wie die Cytochrom-Oxidase, der eine wichtige Funktion in der so genannten Atmungskette lebender Zellen zukommt. Sauerstoff kann durch die Blockade nicht mehr aktiviert und nutzbar gemacht werden. Dieses „innere Ersticken" lähmt einige Fische und lässt andere in Krämpfe fallen, sodass sie sich mit der bloßen Hand oder einem Netz einsammeln lassen.

Es ist bekannt, dass viel Cyanid in die gut durchblutete Leber gelangt. Wie Studien an Süßwasserfischen jedoch gezeigt haben, tragen auch die Milz, das Herz und das Gehirn akute Schäden davon. Wissenschaftler weisen darauf hin, dass Flüssigkeiten länger im Körper von Salzwasserfischen verbleiben als bei Tieren aus Süßwasser. Dadurch kann das Gift dem Organismus längere Zeit schaden, bevor es im Stoffwechsel entgiftet und ausgeschieden wird. Schon Blausäurekonzentrationen von nur fünf Milligramm pro Liter wirken für manche Fischarten tödlich.

Was man über Cyanidschäden an Korallen hört, beruht meist nicht auf streng wissenschaftlichen Untersuchungen. Die wenigen Fachstudien bestätigen aber, dass es diesen Tieren nicht besser als den Fischen ergeht. So beendete der Meeresbiologe James M. Cervino von der University of South Carolina im letzten Jahr eine Reihe von Experimenten, in denen er zehn Korallenarten Cyanid-Konzentrationen aussetzte, die tausende Male niedriger waren als die Mengen, die Fischer einsetzen. Acht Spezies starben sofort, darunter wichtige „Riffbildner", die beiden anderen innerhalb von drei Monaten.

Das Cyanid zerstörte bei den empfindlichen Baumkorallen offenbar die symbiotische Beziehung zwischen den Korallen-Polypen und den Klein-Algen, die in ihren Zellen lebten. Normalerweise verleihen Letztere den Korallentieren ihre wunderbare Farbe, versorgen sie über Photosynthese mit Energie und wandeln Abfallstoffe in Aminosäuren um. Aber schon geringe Mengen von Cyanid (50 Milligramm pro Liter) sorgen dafür, dass sie in Schleimtröpfchen aus dem Korallengewebe austreten – ein Vorgang, der unter dem Begriff „Ausbleichen der Riffe" traurige Berühmtheit erlangt hat. Die anderen Korallentypen haben sich zwar als etwas widerstandsfähiger als Baumkorallen erwiesen, doch Cervino zufolge begann sich bei ihnen das äußere Gewebe abzuschälen.



Die richtige Methode: Ein Taucher sammelt mit dem Handnetz Fische ein. Zuvor hat er sie in ein großes Fangnetz getrieben, das über den Köpfen der Korallen gespannt ist.



Die falsche Methode: Ein Taucher fischt mit Cyanid. Hier wird die Situation nachgestellt, indem der Taucher Milch aus einer Plastikflasche auf seine Beute spritzt.

manche Experten eine unerträgliche Wartezeit.

„Ich glaube, das Marine Aquarium Council war nicht energisch genug“, sagt der Biologe James M. Cervino von der Universität South Carolina. Nachdem er sechs Jahre lang für die Global Coral Reef Alliance tätig war und dabei selbst Augenzeuge der schädlichen Folgen des Cyanids wurde, fordert er sogar einen vorübergehenden Handelsstopp. „Solange man keinen Nachweis dafür bekommen kann, dass ein Fisch aus nachhaltigem Fang stammt, darf der Handel nicht weiter erlaubt sein.“

Zwar verbietet internationales Recht gemäß der Convention of the International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora (CITES) bereits jetzt den Handel mit tausenden Arten von Steinkorallen, aber die meisten von Riffen stammenden Aquarientiere stehen nicht auf dieser Liste. Auf den Philippinen haben einige dörfliche Gemeinden den Export bestimmter Riffspezies verboten, doch nach Aussage von Ferdinand Cruz geht die Jagd nun illegal weiter. Er empfiehlt vielmehr, als Regulationsmechanismus Lizenzen für den Fischfang einzuführen. So könnten die Einheimischen weiterhin ihren Lebensunterhalt verdienen. Doch Cruz warnt: „Falls dieser Handel nicht nachhaltig sein wird, muss man ihn ganz unterbinden.“

Wenn das Zertifizierungssystem erst einmal eingerichtet ist, könnten gesetzlich geregelte Importbeschränkungen in den USA bei der Durchsetzung helfen. Viele Unternehmer würden solche Regelungen aber lieber vermeiden. Doch selbst wenn ein Großteil der Käufer ausschließlich zertifizierte Fische verlangen sollte, würde dies die Riffe nicht schlagartig retten. Nicht nur sind die Standards während der anfänglichen Testphase noch recht niedrig angesetzt und leicht zu erfüllen, sodass ein paar „verseuchte“ Fische durch die Maschen schlüpfen könnten. Auch ein Rückgang des Cyanideinsatzes ist noch keine Garantie dafür, dass der Zierfischfang generell nicht trotzdem den Riffen schadet.

Ein Beispiel dafür ist Kona auf Hawaii. Zwar setzen die Jäger dort kein Cyanid ein. Wie aber Brian N. Tissot von der Washington State University in Vancouver, B.C. sowie Leon E. Hallacher von der University of Hawaii in Hilo im Jahr 1999 feststellten, beeinträchtigt der Fang die Populationsentwicklung von sieben Korallenfischarten. Drei davon waren Algenfresser. Sollten die Tiere verschwinden, könnten pflanzliche Organismen wuchern und schließlich die Korallen ersticken. Die deutsche Tierschutzorganisation ProWildlife hält aus diesen Gründen den aktuellen Boom von Aquarien mit Korallenbewohnern für bedenklich.

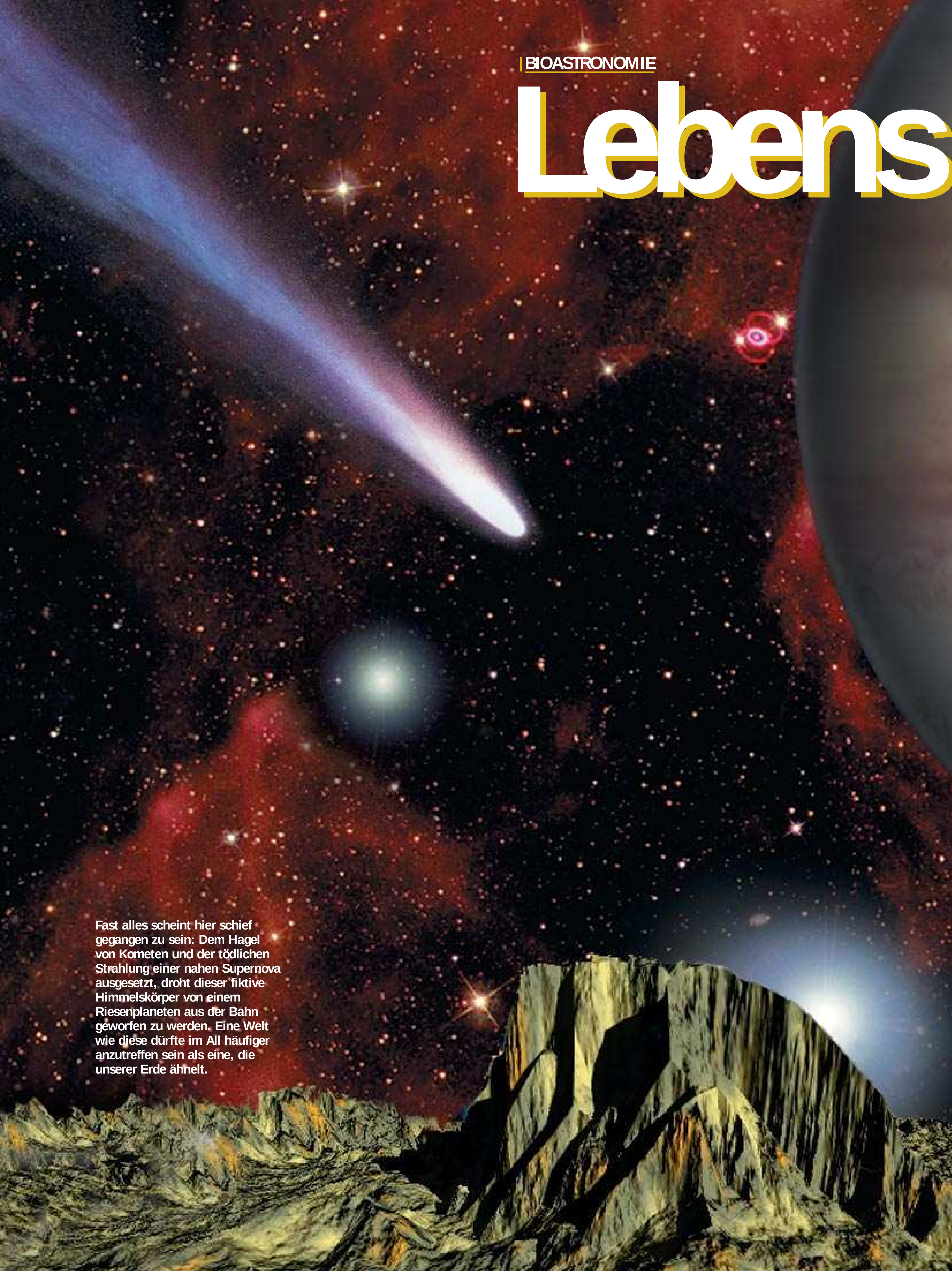
Stichprobe im Warenlager: Für den chemischen Test auf Cyanid müssen leider auch Fische sterben.

Darüber hinaus benutzen auch Fischer, die Speisefische lebend fangen, Cyanid und haben diese schreckliche Technik nach Malaysia, auf die Marshall-Inseln, Papua-Neuguinea und eventuell in weitere Regionen Südostasiens getragen. Ferdinand Cruz und andere Mitarbeiter der IMA berichten von regelrechten Raubzüge in Küstenbereichen, an deren langfristiger Produktivität diese Fischer gar nicht interessiert sind. Hingegen sind die Fänger von Aquarienfischen meist Mitglieder lokaler Gemeinschaften, die über Generationen vom gleichen Riff leben. Teilweise ist es den Empfehlungen von Cruz zu verdanken, dass die MAC-Standards vorschreiben, örtliche Fischer mit der Bewachung ihrer Reviere zu beauftragen, auch wenn das den Einsatz von Patrouillen und das Vertreiben von Fremden bedeutet.

Den Fischern vor Ort starke Anreize zu bieten, ihre Riffe selbstverantwortlich zu behandeln, „ist vermutlich in vielen Regionen die beste Möglichkeit, die Riffe überhaupt zu bewahren“, sagt Paul Holthus. Auch bei den verschiedenen Parteien in der Handelskette für lebende Speisefische beobachtet er Interesse an einem Zertifizierungssystem. Noch besser sähe es für die Lebensräume aus, wenn sie zu Tauchparadiesen für Touristen oder geschützten Parks umgewandelt würden, in denen der Fischfang überhaupt verboten wäre, meint er. Aber wegen ökonomischer und politischer Barrieren dürfte wohl nur eine kleine Anzahl von Riffen jemals diesen Status erhalten. ■

***Sarah Simpson** ist Redakteurin bei Scientific American.*
Der World Wildlife Fund unterstützte Spektrum der Wissenschaft mit Sachinformationen.

Lebens



Fast alles scheint hier schief gegangen zu sein: Dem Hagel von Kometen und der tödlichen Strahlung einer nahen Supernova ausgesetzt, droht dieser fiktive Himmelskörper von einem Riesenplaneten aus der Bahn geworfen zu werden. Eine Welt wie diese dürfte im All häufiger anzutreffen sein als eine, die unserer Erde ähnelt.

feindliches All

Außer der Erde gibt es womöglich kaum Planeten mit höheren Lebensformen. Denn die ökologischen Nischen in unserer Galaxis sind weitaus seltener und kleiner als vermutet.

Von Guillermo Gonzalez, Donald Brownlee und Peter D. Ward

Wie sehen Außerirdische aus, deren Sonne ein Roter Zwergstern ist? Was treiben die Bewohner von Sternentstehungsregionen? Wie lebt es sich auf einem Planeten, der in einem Doppelsternsystem zwei Sonnen umkreist? Sciencefiction-Romane haben Antworten auf all diese Fragen gefunden. In diesen utopischen Geschichten reisen Raumfahrer von der Erde sogar zu Kugelsternhaufen oder in das Zentrum der Galaxis, um mit den dortigen Zivilisationen Kontakt aufzunehmen.

Dass Literaten ihre Schauplätze in immer exotischere Regionen des Milchstraßensystems verlegt haben, erklärt sich zum Teil aus dem Pessimismus der Wissenschaftler: Fast immer, wenn die Astrophysiker einen vermeintlichen Lebensraum näher untersucht hatten, waren die Ergebnisse ernüchternd. Noch vor wenigen Jahrhunderten, als so große Geister wie Nicolaus von Kues (1401–1464) oder Immanuel Kant (1724–1804) die Fundamente der modernen Naturwissenschaft legten, gehörte es für sie zum guten Ton, intelligente Bewohner auf den damals bekannten Planeten und sogar auf der Sonne zu postulieren. Anfang des 17. Jahrhunderts richtete Johannes Kepler ein Fernrohr auf den Mond und meinte, dort Meere und erdähnliche Wetterbedingungen entdeckt zu haben. Und wenige Jahrzehnte später, als man bereits nicht mehr an einen belebten Mond glaubte, führte ein anderer Astronom, Christian Huygens, die Lebenssuche mit dem Teleskop für die Venus und den Mars fort.

Heutzutage lässt sich nicht mehr ernsthaft über Kanäle bauende Marsbewohner oder kühle Oasen im Innern der Sonne spekulieren. Denn inzwischen wissen wir, dass die allermeisten Orte unseres Sonnensystems absolut lebensfeindlich sind. Auf der Suche nach außerirdischen Lebensräumen sind moderne Astrophysiker den Sciencefiction-Autoren in immer fernere galaktische Regionen gefolgt. Dabei zeichnet sich ab, dass unser gesamtes Milchstraßensystem weitgehend unwirtlich ist. Eine flächendeckende Besiedlung der Galaxis durch intelligente Zivilisationen erscheint demnach unwahrscheinlich.

Die Astronomen nehmen an, dass es in extrasolaren Planetensystemen, wie bei uns, zwei Arten von Planeten gibt: massereiche „jupiterähnliche“, die überwiegend aus Gas bestehen, und massearmere „erdähnliche“, die hauptsächlich Metalle und Gestein enthalten. Nur erdähnliche Planeten haben eine feste Oberfläche, was Exobiologen als notwendig für eine biologische Evolution ansehen. Zudem muss diese Oberfläche wenigstens für einige Hundertmillionen Jahre flüssiges Wasser aufweisen, um Leben hervorbringen zu können. Dies ist aber nur in einem relativ schmalen Gürtel um die fremde Sonne möglich: Näher zum Zentralgestirn ist es so heiß, dass Wasser verdunstet und in den Weltraum entweicht. In extremen Fällen kann dieser Vorgang durch einen Treibhauseffekt wie auf der Venus verstärkt werden. Weiter außerhalb des Gürtels dagegen gefriert das Wasser. Bereits mit Hilfe elementarer Gesetze der modernen Astrophysik können die Forscher Umfang und Breite der lebensfreundlichen Zone für Sterne unterschiedlichster Masse abschätzen (siehe „Die Entwicklung des Klimas auf den erdähnlichen Planeten“, Spektrum der Wissenschaft 4/1988, S. 46).

Damit ein erdähnlicher Planet Leben hervorbringen kann, reicht sein Aufenthalt in der „Ökosphäre“ seines Muttergestirns allein aber nicht aus. Zum einen stellen die Forscher weitere Anforderungen an den Planeten selbst. So müssen beispielsweise die Gewässer auf seiner ▶

Steckbrief

Welche Bedingungen müssen erfüllt sein, damit ein Planet über lange Zeiträume komplexe Lebensformen beherbergen kann? Lange Zeit glaubten die Astronomen, das wichtigste Kriterium sei das Vorhandensein von flüssigem Wasser über lange Zeiträume, was nur in einer schmalen Zone um das jeweilige Zentralgestirn möglich ist.

➤ Doch neue Erkenntnise aus der Beobachtung von anderen Sonnensystemen zeigen: Der Aufenthalt im Lebensgürtel um das Zentralgestirn reicht nicht aus.

➤ Auch das Milchstraßensystem hat einen Lebensgürtel, in dem sich unser Planetensystem befindet. Weiter außen ist der Anteil an gesteinsbildenden Elementen in der interstellaren Materie zu gering, um daraus erdähnliche Planeten hervorgehen zu lassen.

➤ Weiter innen ist die Häufigkeit lebensbedrohender Katastrophen zu groß: Die erdähnlichen Planeten können dort aus ihrer Bahn vertrieben, von Kometeneinschlägen verwüstet oder von Ausbrüchen kosmischer Strahlung versengt werden.

Oberfläche die chemischen Grundstoffe zur Bildung biologischer Substanzen enthalten. Zum anderen sind weitere Bedingungen an den Aufbau des Planetensystems zu stellen:

➤ Die Umlaufbahn des Planeten darf kaum exzentrisch sein, um katastrophale Klimaschwankungen zu vermeiden,

➤ er muss einen großen Mond als Begleiter haben, damit er relativ stabil rotieren kann,

➤ und es muss zusätzlich einen großen Gasplaneten ähnlich dem Jupiter geben, der die meisten irrlaufenden planetaren Kleinkörper einfängt und den erdähnlichen Planeten dadurch vor allzu vielen todbringenden Einschlägen bewahrt.

Doch damit nicht genug – auch die galaktische Umgebung muss passen: In unserer Galaxis drohen vielerorts lebensfeindliche Katastrophen, wie Supernova-Explosionen oder Beinahezusammenstöße von Sternen, deren Nähe zu meiden ist. Als besonders unwirtlich erweist sich in dieser Hinsicht das galaktische Zentrum, wo die Sterne relativ eng beieinander stehen und allein deshalb ein größeres Katastrophenrisiko vorhanden ist.

Aber auch weit draußen, in den Randbezirken des Milchstraßensystems, lässt es sich nicht gut leben. Dies machten die Arbeiten der Astrophysikerin Virginia Trimble deutlich, die sie in den neunziger Jahren an der Universität von Maryland und an der Universität von Kalifornien in Irvine durchführte. Trimble untersuchte die Wahrscheinlichkeit für Leben in Abhängigkeit von der chemischen Zusammensetzung der Urwolke, aus der sich ein Planetensystem bildet. Entsteht das System in einem Gebiet der Galaxis, das relativ wenig Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Silizium und Eisen enthält, so ist die Chance zur Bildung erdähnlicher Planeten deutlich herabgesetzt. Zum Beispiel weisen die galaktischen Randgebiete solch ein Defizit an gesteinsbildenden Elementen auf.

Einen enormen Erkenntnisschub brachte in den letzten Jahren die detaillierte Suche nach planetaren Begleitern bei über tausend sonnenähnlichen Sternen in unserer galaktischen Umgebung. In über hundert Fällen entdeckten die Astronomen massereiche Planeten, bei denen es sich nach ihrer Meinung um große Gasbälle wie Jupiter handelt.

Leben in einer schmalen Zone

Dass die Planetenjäger bei den meisten Sternen nicht fündig geworden sind, liegt zum einen sicherlich daran, dass die bisherige Durchmusterungstechnik nur die Entdeckung massereicher Himmelskörper auf relativ engen Umlaufbahnen erlaubt. Zum anderen zeigt die statistische Auswertung der Resultate, dass diese Riesenplaneten insbesondere bei solchen Sternen anzutreffen sind, deren Spektren überdurchschnittlich reich an Linien sind, die von gesteinsbildenden Elementen stammen. Obwohl diese Planeten vermutlich, genau wie Jupiter und Saturn, vorwiegend aus den im Kosmos häufigsten Elementen Wasserstoff und Helium bestehen, bilden sie sich offenbar bevorzugt aus protostellaren Materiewolken, die einen hohen Anteil an schwereren Elementen haben. Während die beiden leichtesten Elemente im interstellaren Raum gasförmig vorliegen, neigen alle schwereren Elemente – die Astronomen fassen sie unter dem Begriff „Metalle“ zusammen – zur Bildung von feinem Staub, bestehend aus Wasser-, Kohlenmonoxid- und Ammoniakkristallen sowie Silikaten und Metalloxiden. Die Forscher vermuten, dass dieser Staub in der ersten Phase der Planetenbildung um eine junge Sonne eine bedeutende Rolle spielt.

1999 haben wir vorgeschlagen, analog zum zirkumstellaren Lebensgürtel einen galaktischen Lebensgürtel zu definieren, der zwei einschränkende Bedingungen zu erfüllen hat: Einerseits dürfen sich in der Umgebung nur selten kosmische Katastrophen ereignen, andererseits muss die interstellare Materie dort relativ reich an schweren Elementen, den Metallen, sein. Während Wasserstoff und Helium bereits im Urknall erzeugt wurden, haben sich die schwereren Elemente erst nach und nach durch Kernfusion im Inneren der Sterne gebildet. In den interstellaren Raum gelangen sie hauptsächlich durch Supernova-Explosionen.

Die erdähnlichen Planeten enthalten vorwiegend schwere Elemente – ihre Gravitation reicht nämlich nicht aus, um Wasserstoff oder Helium im Schwerefeld zu halten. Daher ist zu erwarten, dass die erreichbare Masse der erdähnlichen Planeten vom Anteil der schweren Elemente, also dem Metallgehalt, in der Materiewolke abhängt, aus der das betreffende Planetensystem hervorgegangen ist. Die Masse der erdähnlichen Planeten ist aber entscheidend für ihre Fähigkeit, eine Atmosphäre zu halten und geologische Aktivität (wie Vulkanismus und Plattentektonik) zu entwickeln.

Für die Entstehung der Gasplaneten sind die schweren Elemente ebenfalls maßgeblich. Denn bevor sich die Gase Wasserstoff und Helium zusammenballen können, muss zuvor ein Himmelskörper mit hinreichender Masse aus festen Bestandteilen entstanden sein. Inzwischen sind viele sonnenähnliche Sterne nach planetaren Begleitern abgesucht worden, um verlässlich abschätzen zu können, welcher Metallgehalt für das Herausbilden von Gasplaneten mindestens erforderlich ist. Bisher ist kein Stern mit Planeten bekannt, der weniger als vierzig Prozent der solaren Häufigkeit an schweren Elementen aufweist. Und eine Durchmusterung des Kugelsternhaufens 47 Tucanae mit dem Hubble-Weltraumteleskop ergab keinen einzigen Treffer. Dies erklärt sich wahrscheinlich, zumindest teilweise, aus dem geringen durchschnittlichen Metallgehalt, der nur 25 Prozent des solaren Wertes beträgt (siehe „Die Suche nach erdähnlichen Planeten“, Spektrum der Wissenschaft 1/2001, S. 42).

Ein zu hoher Anteil schwerer Elemente in der protosolaren Wolke erweist sich allerdings ebenfalls als ungünstig für die Entwicklung von Leben. Computersimulationen zufolge sind die daraus entstehenden erdähnlichen Planeten massereicher als bei uns. Sie sammeln auf Grund der stärkeren Gravitation eine dichtere Atmosphäre an und weisen eine viel stärkere Erosion der Oberfläche auf. So entsteht vermutlich ein Ozean, der den Planeten vollständig bedeckt. Auf unserer Erde sorgt aber gerade das klimatische Zusammenspiel von Land und Meer für eine stabile Temperatur und andere lebensfreundliche Umwelteigenschaften.

Weiterhin entwickelt sich aus einer staubreichen Urwolke eine dichtere protoplanetare Gasscheibe um die gerade entstandene Sonne. Auf diese Weise erhöht sich die Reibung, der die entstehenden Gasplaneten ausgesetzt sind; sie wandern nach innen und vertreiben die kompakten erdähnlichen Planeten. Die Wechselwirkung mit den Gasriesen lässt die Gesteinsplaneten entweder in den interstellaren Raum entweichen oder in das Zentralgestirn stürzen (siehe „Schwerkraft-Billard im Sonnensystem“, Spektrum der Wissenschaft 11/1999, S. 32).

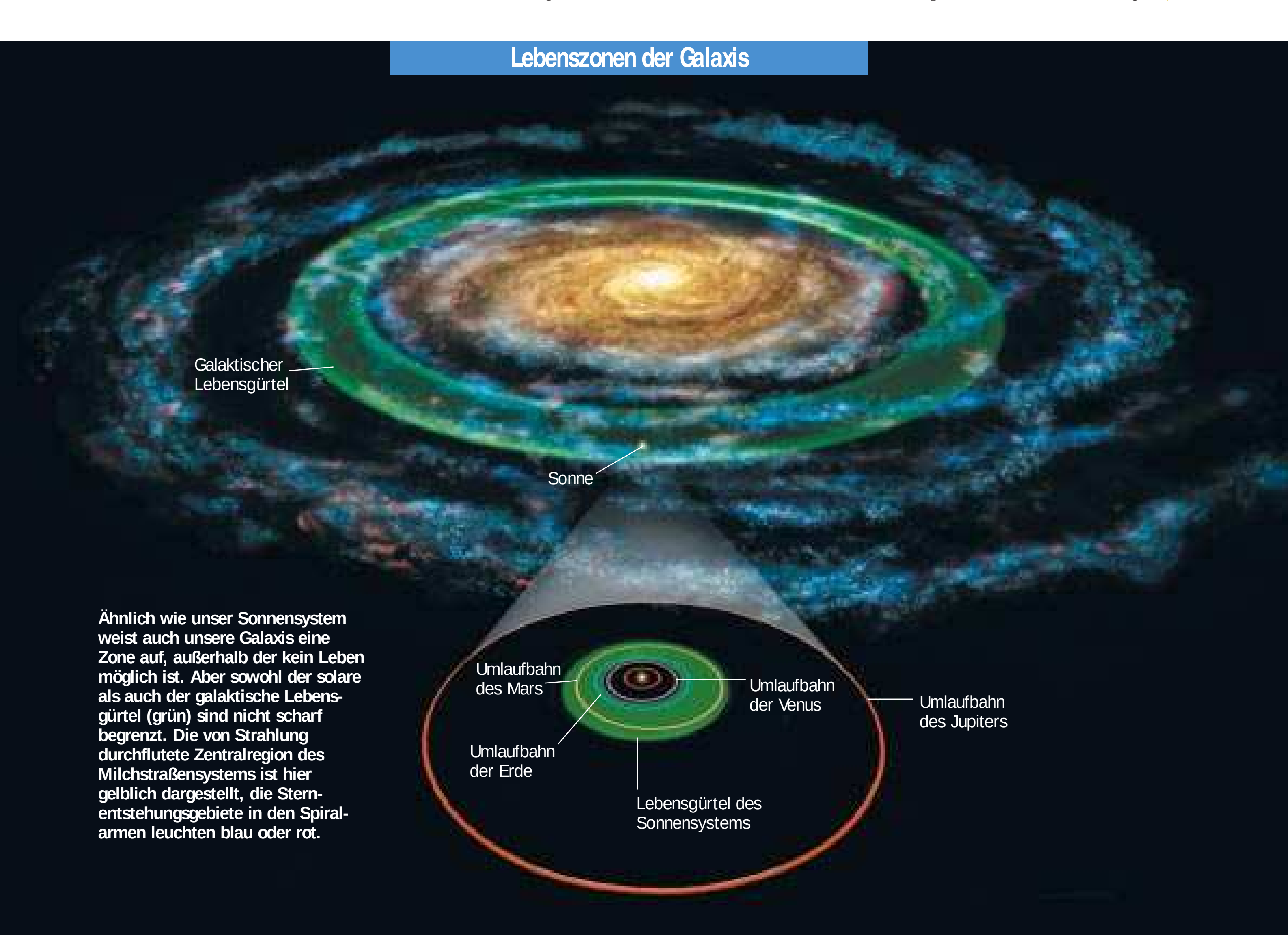
Durch dick und dünn

Charles H. Lineweaver von der Universität von Neusüdwales in Australien hat kürzlich die Abhängigkeit der Planetenbildung und -wanderung vom Metallgehalt in der Urwolke quantitativ untersucht. Er nahm zunächst an, dass die Wahrscheinlichkeit zur Bildung eines erdähnlichen Planeten proportional zum Gehalt schwerer Elemente ist. Aus den Daten der bekannten extrasolaren Planeten leitete er dann ab, dass die Wanderungsbewegung der riesigen Gasplaneten überproportional mit dem Metallgehalt zunehmen muss. Ein gegenüber unserem Sonnensystem verdreifachter Anteil an schweren Elementen reicht bereits aus, sie vollständig zu vertreiben.

Obwohl Lineweavers Rechnungen die komplexen Vorgänge in der Natur nur näherungsweise widerspiegeln, scheint ein Metallgehalt wie in unserem Sonnensystem optimal zu sein: Einerseits erreichen die erdähnlichen Planeten nahezu dieselbe Masse wie die Erde, andererseits sind ihre Umlaufbahnen stabil.

Aber nur in einem begrenzten Gürtel um das Zentrum der Galaxis gleicht der Anteil schwerer Elemente in etwa dem solaren Wert. Die Astronomen unterscheiden vier, mehr oder weniger deutlich gegeneinander abgegrenzte Gebiete des Milchstraßensystems: die dünne Scheibe, die dicke Scheibe, die zentrale Verdickung (englisch *bulge*) und den Halo. Alle Sterne, gleich welchem Gebiet sie angehören, bewegen sich auf Kreis- oder Ellipsenbahnen um das galaktische Zentrum – ähnlich wie Planeten einen Stern umlaufen.

Die dicke Scheibe und der Halo bestehen überwiegend aus Sternen, die sich bereits in der Jugendzeit der Galaxis gebildet haben und die deshalb relativ arm an schweren Elementen sind. Dort werden vermutlich kaum erdähnliche Planeten mit einer für eine lebensspendende Lufthülle ausreichenden Masse anzutreffen sein. Im Zentralbereich gibt es zwar eine weite Spanne von Anreicherungen ▶



Ähnlich wie unser Sonnensystem weist auch unsere Galaxis eine Zone auf, außerhalb der kein Leben möglich ist. Aber sowohl der solare als auch der galaktische Lebensgürtel (grün) sind nicht scharf begrenzt. Die von Strahlung durchflutete Zentralregion des Milchstraßensystems ist hier gelblich dargestellt, die Sternentstehungsgebiete in den Spiralarmen leuchten blau oder rot.

mit schweren Elementen; aber wenn dort Leben auf erdähnlichen Planeten existieren sollte, hätte es einer weit stärkeren radioaktiven Belastung durch die kosmische Strahlung zu trotzen. Solche Strahlung setzen zum einen Supernovae und Neutronensterne frei, die dort häufiger vorkommen als in der Umgebung unserer Sonne; und zum anderen ist das Schwarze Loch im Zentrum der Galaxis viel näher, das immer dann intensive Strahlung aussendet, wenn es Gasschwaden oder komplette Sterne verschlingt.

Unsere Sonne mit ihren Planeten befindet sich in der dünnen galaktischen Scheibe, 28 000 Lichtjahre vom Mittelpunkt des Milchstraßensystems entfernt. Der Metallgehalt nimmt in der Scheibe von innen nach außen ab. In unserer weiteren Umgebung konnten die Astronomen in den letzten Jahren durch spektroskopische Untersuchungen von Sternen und Gaswolken diesen Gradienten ermitteln: Pro Entfernungsschritt von tausend Lichtjahren fällt der Metallgehalt um fünf Prozent ab. Dies scheint ein allgemeines Phänomen zu sein, denn Untersuchungen von anderen Spiralgalaxien, die unserem Milchstraßensystem ähneln, haben Vergleichbares ergeben.

Dieser nach außen abnehmende Gehalt an schweren Elementen geht mit einer linearen Abnahme der Sternentstehungsrate einher. Denn in den Außenbezirken der dünnen Scheibe ist das interstellare Gas, aus dem sich neue Sterne formen, weniger dicht. Die globale Sternentstehungsrate im Milchstraßensystem hatte vor acht bis zehn Milliarden Jahren ihr Maximum erreicht; seitdem nimmt sie beständig ab, weil der Gasvorrat langsam aufgebraucht wird. Heute hat sie in der Umgebung der Sonne einen Wert, der den Metallgehalt in einer Milliarde Jahren um acht Prozent erhöht.

Aus den genannten Zahlen können wir die Ausdehnung des galaktischen Lebensgürtels zu verschiedenen Zeiten abschätzen (siehe Grafik Seite 44). Sonnensysteme, die sich heute aus Gaswolken bilden, deren Metallgehalt zwischen 60 und 200 Prozent des solaren Wertes beträgt, finden sich vorzugsweise in 15 000 bis 38 000 Lichtjahren Abstand vom galaktischen Zentrum. In diesem Bereich liegen nur 20 Prozent aller Sterne des Milchstraßensystems. Vor fünf bis sechs Milliarden Jahren verlief der äußere Rand des Gürtels durch unsere galaktische Heimat. Denn damals überschritten dort die Sterne mit durchschnittlichem Metallgehalt gerade die 60-Prozent-Grenze. Unsere Sonne enthält ungefähr 40 Prozent mehr Metalle als andere Sterne, die zur gleichen Zeit und in der gleichen Region entstanden sind. Dies hat der Erde möglicherweise einen biologischen Startvorteil gegenüber Planeten um andere Sonnen gegeben.

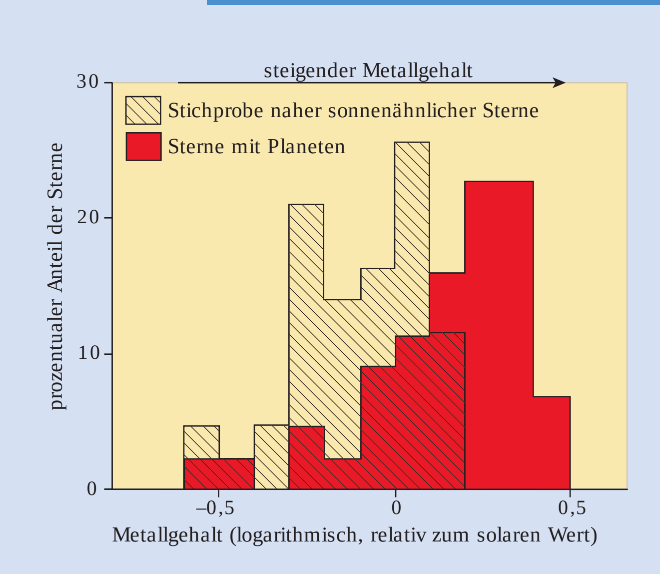
Geformt aus der Asche von Supernovae

Gegen die hier vorgestellte Erklärung der beobachteten Korrelation zwischen dem Auftreten von Planeten und dem Gehalt von schweren Elementen in den untersuchten Sternen lassen sich allerdings auch Einwände erheben. Denn dass es einen hohen Anteil gesteinsbildender Elemente in den äußeren Schichten eines Sterns gibt, muss nicht zwangsläufig in der chemischen Zusammensetzung der jeweiligen Urwolke begründet sein: Die Astrophysiker nehmen heute an, dass in allen Planetensystemen im Laufe der Jahrmilliarden ein mehr oder weniger großer Anteil der Planeten, Asteroiden und Kometen in das Zentralgestirn stürzt und so die Sternatmosphäre mit schweren Elementen zusätzlich anreichert. Deshalb würde man bei Sternen, die von einem Planetensystem umgeben sind, eine überdurchschnittliche Anreicherung erwarten. Doch zumindest bei Sternen, die wie unsere Sonne eine tief reichende konvektive äußere Schicht besitzen, kann das Einfangen von festen Körpern nicht zu einer signifikanten Anreicherung führen. Die Konvektion verteilt die schweren Elemente in einem zu großen Gasvolumen.

Ein anderer Einwand betrifft das Messverfahren: Die Planetensuche beruht auf der Messung winziger Verschiebungen der Linien im Spektrum des betreffenden Sterns (hervorgerufen von dessen periodischer Bewegung um den gemeinsamen Schwerpunkt mit dem Planeten). Da die Messwerte an der Nachweisgrenze liegen, ist die Methode bevorzugt bei solchen Sternen erfolgreich, die ausgeprägte Spektrallinien aufweisen. Das sind aber gerade die mit schweren Elementen angereicherten Sterne. Dieser Auswahleffekt sollte allerdings erst dann richtig zum Tragen kommen, wenn der Metallgehalt unter zehn Prozent des solaren Wertes sinkt. Da dies deutlich unter der oben erwähnten 40-Prozent-Grenze liegt, ab der überhaupt erst Planeten nachgewiesen wurden, scheint die beobachtete Korrelation einen realen Zusammenhang widerzuspiegeln.

Der Metallgehalt allein ist freilich noch ein zu grobes Kriterium für die Frage, ob sich in einem Planetensystem erdähnliche Planeten mit lebensfreundlichen Umweltbedingungen befinden können. Es kommt auch darauf an, welche schweren Elemente in welcher Menge vorhanden sind. Die auf der Erde häufigsten Elemente stammen aus Supernova-Explosionen, von denen es zwei fundamental unterschiedliche Arten gibt: Solche vom Typ I, bei denen ein Weißer Zwerg explodiert, setzen hauptsächlich Eisen, Nickel und Kobalt frei. Supernovae vom Typ II beruhen auf dem Kollaps des Kerngebietes eines Riesensterns, wodurch dessen äußere Hülle fortgeschleudert wird. Sie reichern das interstellare Gas vorwiegend mit Sauerstoff, Silizium, Magnesium, Kalzium und Titan an. Und interessanterweise sind sie die einzige Quelle der allerschwersten Elemente wie Thorium und Uran.





Die Durchmusterung einer großen Zahl sonnenähnlicher Sterne nach Planeten hat deutlich gemacht, wie wichtig schwere Elemente – die Astronomen nennen sie Metalle – für die Planetenbildung sind. Wie dieses Histogramm zeigt, haben die Sterne, in deren Nähe Riesenplaneten entdeckt wurden (roter Bereich), vorzugsweise einen höheren Anteil an gesteinsbildenden Elementen als die durchschnittlichen Sterne der solaren Umgebung (schwarz schraffiert).

Aus der Ferne schön anzuschauen – in der Nähe extrem lebensfeindlich



Kugelsternhaufen M 22 – Zu wenig schwere Elemente

Adlernebel M 16 – Gefährliche Strahlung von heißen Riesensternen

Kugelsternhaufen Omega Centauri – Zu wenig schwere Elemente

O-Stern G339.88–1.26 – Zu hohe Leuchtkraft, zu kurze Lebensdauer

Was hübsch aussieht, kann Lebewesen in der Nähe gefährlich werden oder sogar die Bildung erdähnlicher Planeten überhaupt verhindern. Die lebensfreundlichen Gegenden des Milchstraßensystems sehen vergleichsweise langweilig aus.



Trifid-Nebel M 20 – Ionisiertes Gas

Galaktisches Zentrum – Intensive Strahlung, instabile Umlaufbahnen

Zirrus-Nebel – Überreste einer Sternexplosion

Protoplaneten im Orion-Nebel – Gefährliche Strahlung von heißen Riesensternen

Da die durchschnittliche Sternentstehungsrate in der Galaxis allmählich abnimmt, sinkt auch die Häufigkeit von Supernovae. Dies betrifft hauptsächlich solche vom Typ II, da die Riesensterne kurzlebig sind und bereits einige Zehnmillionen Jahre nach ihrer Entstehung explodieren. Die Typ-I-Supernovae haben eine längere Vorgeschichte, ihre Häufigkeit ist daher nicht so stark an die Sternentstehungsrate gekoppelt. Im Endeffekt bewirkt eine allmählich sinkende Sternentstehungsrate also eine relative Zunahme der Typ-I-Supernovae und damit eine relativ stärkere Anreicherung von Eisen, Nickel und Kobalt.

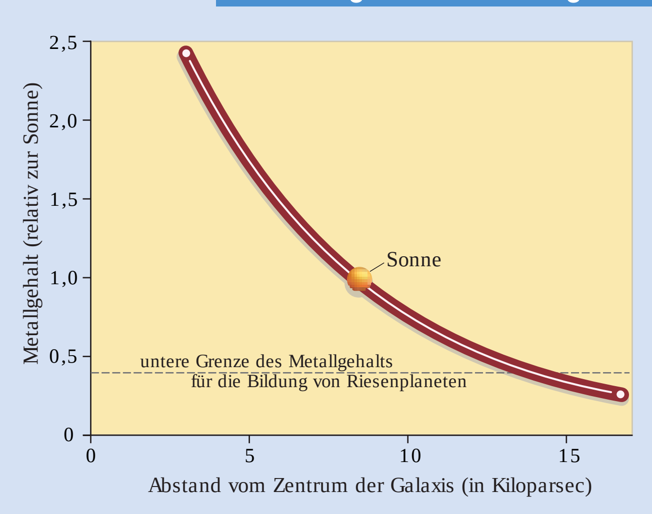
Wenn heutzutage in unserer galaktischen Nachbarschaft erdähnliche Planeten entstehen, werden sie deshalb wohl reicher an Eisen sein als die Erde. Dies hat einen größeren Eisenkern im Verhältnis zur Größe des gesamten Planeten zur Folge. Eine sich heute bildende Erde hätte aber auch einen etwa vierzig Prozent geringeren Anteil an den sehr schweren radioaktiven Elementen, deren Zerfall die Erde von innen erwärmt und für Vulkanismus und Plattentektonik sorgt. Diese Prozesse spielen eine wichtige Rolle bei der Versorgung der Biosphäre mit Kohlenstoff. Die sich heute formenden erdähnlichen Planeten sind daher mit größerer Wahrscheinlichkeit Planeten mit starrer Kruste wie Venus oder Mars. Zumindest im Falle der Venus trägt die fehlende Plattentektonik zu deren unwirtlichen Oberflächenbedingungen bei (siehe „Klima und Vulkanismus auf der Venus“, Spektrum der Wissenschaft 5/1999, S. 38). Wir verstehen allerdings noch nicht in allen Einzelheiten, wie die Geologie eines Planeten von seinem Wärmetransport im Inneren abhängt.

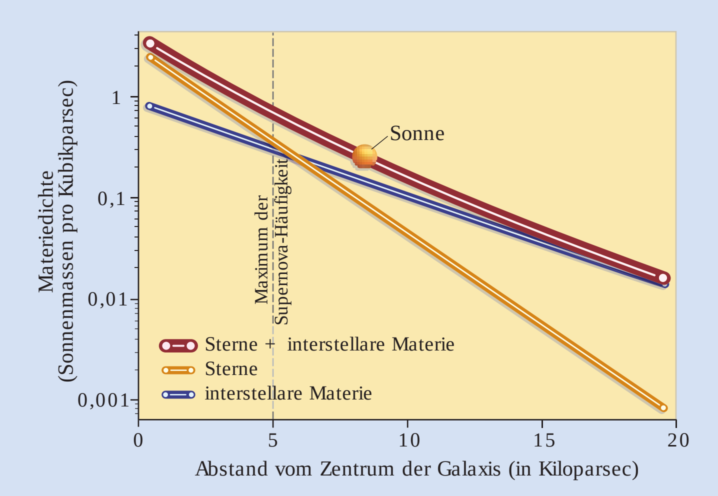
Gefahren lauern überall

Doch selbst wenn alle nötigen Elemente in der richtigen Zusammensetzung zur rechten Zeit am rechten Ort vorhanden sind, um eine neue Erde entstehen zu lassen, wird sie nicht zwangsläufig lebensfreundliche Umweltbedingungen bieten. Sie muss auch vor äußeren Gefahren geschützt sein. Die größte Bedrohung sind Einschläge von Kometen oder Asteroiden sowie Ausbrüche kosmischer Strahlung im galaktischen Umfeld.

Wie häufig Asteroiden auf der Erde einschlagen, ist fast allein von der gravitativen Wirkung des Riesenplaneten Jupiter bestimmt. Für die Bedrohung durch Kometen sind zusätzlich Vorgänge außerhalb des Sonnensystems maßgeblich. Etwa 100 Milliarden Kometenkörper sind auf zwei „Reservoire“ des Sonnensystems verteilt: im Kuiper-Gürtel jenseits der Neptunbahn und in der kugelförmigen Oort'schen Wolke, die sich fast bis zu den entsprechenden Wolken der Nachbarsterne unserer Sonne erstreckt. Durch Beobachtungen im infraroten Spektralbereich haben Astronomen bei etwa der Hälfte aller jungen Sterne in der Nähe der Sonne eine das Zentralobjekt umgebende Scheibe aus Staub und Gas nachgewiesen, die offenbar vergleichbar ist mit dem Kuipergürtel unseres Sonnensystems. Vor kurzem gelang es, in der ▶

Der galaktische Lebensgürtel: In der Mitte ist es am gemütlichsten





Der galaktische Lebensgürtel umfasst ein Gebiet, in dem die gesteinsbildenden Elemente häufig genug sind und die Gefahr eines katastrophalen äußeren Einflusses klein genug ist. Die Häufigkeit dieser Metalle nimmt vom Zentrum der Galaxis nach außen ab (links); die räumliche Dichte der Sterne – ein ungefähres Maß für die äußeren Bedrohungen – nimmt ebenfalls von innen nach außen ab (rechts). Ein akzeptabler Kompromiss zwischen beiden ergibt sich ungefähr in der Mitte (1 Parsec entspricht etwa 3,26 Lichtjahren).

Nähe des bereits weit entwickelten Sterns IRC+10216 Wasserdampf nachzuweisen, was die Forscher auf verdampfende Kometen zurückführen. Und im Spektrum des von einer Staubscheibe umgebenen jungen Sterns Beta Pictoris stellten die Astronomen veränderliche Linien fest, was sich durch Kometeneinschläge erklären lässt.

Die Kometen der Oort'schen Wolke sind lediglich locker an das Gravitationsfeld der Sonne gebunden. Dynamische Prozesse in unserer galaktischen Umgebung – das Vorbeiziehen eines Sterns im Abstand von weniger als einem Lichtjahr oder einer massereichen Molekülwolke in etwa hundert Lichtjahren Entfernung von der Erde – können die Bahnen in der Oort'schen Wolke empfindlich stören. Einige Kometen können dann in das innere Sonnensystem eindringen und mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf den Planeten aufschlagen (siehe „Die Oort'sche Wolke", Spektrum der Wissenschaft 12/1998, S. 62). Die Häufigkeit solcher von außen gesteuerten Katastrophen hängt stark von der Entfernung des betreffenden Sterns vom Zentrum der Galaxis ab: Nach innen nimmt die Häufigkeit zu, da der mittlere Abstand der Sterne kleiner wird. Des Weiteren wird ein Planetensystem, das sich in einer Umgebung mit relativ hohem Anteil an schweren Elementen gebildet hat, vermutlich mehr Kometen enthalten, was eine zusätzliche Erhöhung des Katastrophenrisikos im inneren Bereich der galaktischen Scheibe bedeutet.

Auch hochenergetische kosmische Strahlung stellt in den inneren Bereichen der Galaxie eine größere Gefahr dar. Die Komponenten der Strahlung, die aus geladenen Teilchen bestehen, kann das Magnetfeld eines Planeten – zumindest zu einem großen Teil – von dessen Oberfläche fern halten. Und eine atmosphärische Ozonschicht hält schädliche elektromagnetische Strahlung ab. Aber sehr energiereiche Strahlung kann die Gasmoleküle in der oberen Atmosphäre ionisieren und dadurch so große Mengen von Stickstoffoxiden erzeugen, dass diese das Ozon zerstören.

Ungemütliches Zentralgebiet

In der Reihenfolge abnehmender Einwirkungszeit sind die gefährlichsten Strahlenquellen Energieausbrüche auf Grund einfallender Materie in das zentrale galaktische Schwarze Loch, Supernova-Explosionen und Gammastrahlungsausbrüche. Zurzeit ist das Schwarze Loch in der Mitte des Milchstraßensystems relativ ruhig. Aber die Beobachtung anderer Galaxien zeigt extrem heftige Ausbrüche. Hervorgerufen werden sie durch Materie, die in die Nähe des Loches gelangt ist und bei ihrem Sturz in die Singularität sehr energiereiche Strahlung, hauptsächlich in Richtung des zentralen Magnetfeldes der Galaxie, aussendet. Die geladenen Teilchen der Strahlung folgen den Feldlinien und erreichen auf diese Art nach und nach jeden Bereich der Welteninsel.

Am ungemütlichsten wäre es allerdings im Zentralgebiet der Galaxie: Dort ist nämlich die Dichte der Feldlinien am höchsten, und die Sterne können auf ihren Umlaufbahnen eventuell sogar die Gebiete mit dem stärksten Magnetfeld durchqueren, in denen sich bei einem aktiven Schwarzen Loch überaus strahlungsstarke relativistische Jets ausbilden.

Auch Supernovae und Gammastrahlungsausbrüche stellen im inneren Bereich der Galaxis eine stärkere Bedrohung dar. Die Durchmusterung des Milchstraßensystems nach den Überresten von Supernova-Explosionen hat ergeben, dass diese sich in einem Abstand von 17000 Lichtjahren vom Zentrum besonders häufen. Dort, bei sechzig Prozent des Sonnenabstands, gibt es 1,6-mal mehr Supernova-Überreste als in unserer Umgebung. Welche Himmelsobjekte sich hinter den Gammastrahlungsausbrüchen verbergen, ist noch nicht vollständig geklärt. Zumindest einen Teil führen die Astrophysiker auf kollidierende Neutronensterne zurück, die sich aus engen Doppelsternsystemen entwickelt haben („Gammastrahlungs-Ausbrüche: Explosionen im fernen Kosmos", Spektrum der Wissenschaft 9/1997, S. 30)

Die bisher diskutierten Einschränkungen des galaktischen Lebensgürtels führen zu einer recht breiten Zone mit einem diffusen Rand. Im Laufe der chemischen Evolution der Galaxis wanderte der Gürtel langsam von innen nach außen. Natürlich kann es auch außerhalb des Gürtels belebte Planeten geben, und

nicht jeder erdähnliche Planet innerhalb des Gürtels wird tatsächlich Leben hervorgebracht haben. Noch viel geringer ist die Chance für eine über lange Zeiträume bestehende Flora oder Fauna.

Nimmt man als weitere Forderung die Abwesenheit von sehr dichten Dunkelwolken und von intensiv strahlenden Sternentstehungsgebieten hinzu, die beide unzählige Risiken für belebte Planeten darstellen, dann schrumpft der galaktische Lebensraum zu einem schmalen Gürtel: Beide Arten von Wolken finden sich bevorzugt in den Spiralarmen, welche die Galaxis unabhängig von der Umlaufgeschwindigkeit der Sterne umlaufen. Nur auf dem so genannten Korotationskreis sind beide Umlaufgeschwindigkeiten gleich.

Jüngste Messungen der Sterndynamik in der solaren Umgebung zeigen, dass sich die Sonne offenbar sehr nahe des Korotationskreises aufhält. Die beiden Umlaufgeschwindigkeiten weichen demnach nur wenig voneinander ab, wodurch sich die Spiralarme nur sehr langsam relativ zu uns bewegen. Auch wenn unsere Sonne und ihre Planeten vermutlich entstanden, nachdem ein Spiralarm unsere galaktische Heimat erreicht hat, kann es also durchaus sein, dass seitdem nie wieder ein solcher Arm unsere Region passierte. Inwieweit dies die nun schon etwa vier Milliarden Jahre währende biologische Evolution auf der Erde erst möglich gemacht hat, ist jedoch noch nicht geklärt.

Der Stand der Forschung erlaubt noch nicht, den galaktischen Lebensgürtel im Detail zu beschreiben. Doch wenn die Astronomen die Untersuchungen von Kometen, aktiven Galaxienkernen, Supernovae und Gammastrahlungsausbrüchen fortsetzen wie bisher, werden sie die Risiken für belebte Planeten immer besser verstehen können.

Eine genaue Kenntnis des Gürtels ist von großer Bedeutung für die Suche nach außerirdischer Intelligenz. Denn der Gürtel ist das Gebiet mit der höchsten Wahrscheinlichkeit für lebensfreundliche Bedingungen über lange Zeiträume, was zur Entstehung intelligenten Lebens unbedingt erforderlich ist. Unsere bisherigen Analysen deuten darauf hin, dass unsere galaktische Heimat zu den Gebieten mit der allerhöchsten Wahrscheinlichkeit gehört. Weiterhin wissen wir, dass Kugelsternhaufen, das galaktische Zentralgebiet und die Randbezirke der Galaxis höchstens geringe Wahrscheinlichkeiten aufweisen. Die Suchprogramme nach außerirdischem intelligentem Leben sollten diese Erkenntnisse berücksichtigen.

Das Konzept des galaktischen Lebensgürtels ist ebenfalls nützlich für die Diskussion im Zusammenhang mit dem Fermi-Paradoxon: Wenn die Galaxis Zivilisationen hervorgebracht hat, die zur Kolonisierung von fremden Planetensystemen in der Lage sind, dann sollten wir bereits in irgendeiner Form Kenntnis von ihnen haben. Da dies jedoch nicht der Fall ist, gibt es solche Zivilisationen offenbar nicht – und unsere Chancen, uns technisch erheblich weiterzuentwickeln, sind nicht sehr groß (vergleiche „Ist da draußen wer?“, Spektrum der Wissenschaft 11/2000, S. 32).

Vorteilhafte Langeweile in der Sonnenumgebung

Die Annahme, dass die Aliens nur zufällig unsere Erde übersehen und in der solaren Umgebung auch keine für unsere Teleskope sichtbaren Spuren hinterlassen haben, erscheint auf Grund unserer geschilderten Überlegungen fragwürdig. Denn unsere galaktische Heimat müsste für solche Wesen, die ihre Heimat verlassen wollen oder müssen, zu den Topadressen neuer Lebensräume gehören. Der galaktische Lebensgürtel mag insgesamt zwar groß sein, aber die Aliens würden sicher zuerst die Gebiete mit der allerhöchsten Wahrscheinlichkeit für lebensfreundliche Bedingungen absuchen, anstatt ihre Zeit woanders zu verschwenden.

Der galaktische Lebensgürtel verändert sich im Lauf der Zeit. Die Jahrmilliarden andauernde Jugendzeit der Milchstraße war von häufigen Supernova-Explosionen und wahrscheinlich auch von einem sehr viel aktiveren Schwarzen Loch im Zentrum geprägt. Erst in den letzten etwa fünf Milliarden Jahren konnten sich Zivilisationen relativ ungestört entwickeln. Die überdurchschnittliche Anreicherung der solaren Urwolke mit schweren Elementen hat unserem Planetensystem und damit dem Leben auf der Erde einen Evolutionsvorsprung beschert. Dies reduziert die Chance, woanders hoch entwickelte Zivilisationen zu finden, und liefert daher einen möglichen Ausweg aus dem Fermi-Paradoxon.

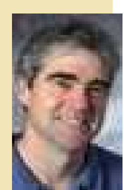
Dieses Argument gilt allerdings nur für komplexe Organismen, die das Resultat einer einige Milliarden Jahre währenden Evolution sind. Für einfache Lebewesen, etwa Einzeller, gilt dies nicht, zumal diese in den vielfältigen ökologischen Nischen auch besser vor gefährlichen äußeren Einflüssen geschützt sind.

Außerhalb unserer Galaxis sind die Lebensbedingungen sogar noch ungünstiger: Etwa achtzig Prozent aller Sterne des Universums befinden sich in Galaxien, die eine geringere Leuchtkraft als das Milchstraßensystem haben. Da die Leuchtkraft mit der Anreicherung von schweren Elementen einhergeht, sind die Chancen zur Bildung erdähnlicher Planeten geringer. Ein erheblicher Anteil aller Welteninseln gehört zum Typ der elliptischen Galaxien, in denen die Sterne sich auf Umlaufbahnen mit zufällig verteilten Exzentrizitäten und Neigungen bewegen. Daher kommen die in einer solchen Galaxie vorhandenen Planetensysteme viel häufiger in die Nähe des zentralen Schwarzen Loches und in den Einflussbereich der relativistischen Jets.

Auch in Hinblick auf weitere Eigenschaften scheint unser Milchstraßensystem ein vergleichsweise komfortabler Ort zu sein. Doch das kann sich in Zukunft ändern: In rund drei Milliarden Jahren wird die Andromeda-Galaxie nahe an unserem Sternsystem vorbeiziehen – vielleicht kommt es sogar zu einer Kollision und Verschmelzung der beiden Spiralgalaxien. Jedenfalls werden dann die Bahnen der Sterne erheblich gestört, und sehr wahrscheinlich werden die beiden zentralen Schwarzen Löcher Nachschub an interstellarem Gas bekommen. Dann kann es ungemütlich auf der Erde werden.

Douglas Adams, der Autor von „Per Anhalter durch die Galaxis“, fasste diese Erkenntnis brillant zusammen: „Weit draußen, im trostlosen Hinterland des langweiligen Ausläufers des westlichen Spiralarms der Galaxis befindet sich eine leicht zu übersehende gelbe Sonne.“ Aber wie so oft stellt sich das Langweilige als das eigentlich Gemütliche heraus. Wir können froh darüber sein. ■





Guillermo Gonzalez, Donald Brownlee *und* ***Peter D. Ward*** *teilen das Interesse an der Erforschung der Lebensräume in der Galaxis. Die drei wirken am Astrobiologieprogramm der Universität Washington mit, das seit kurzem von der Nasa gefördert wird. Gonzalez (oben), gegenwärtig an der Iowa State University, promovierte in Washington über die chemische Beschaffenheit weit entwickelter Sterne in Kugelsternhaufen. Brownlee (Mitte) hat sich auf die Untersuchung von Kometenstaub und Meteoriten spezialisiert; er ist einer der wissenschaftlichen Leiter der Stardust-Mission, die im Januar 2006 Staub von einem Kometen auf die Erde bringen soll. Ward ist Paläontologe, der globale Massensterben erforscht.*

THOMAS BRAUN

Die neuen Medikamente gegen Krebs

Die neuesten Wirkstoffe zur Krebsbekämpfung treffen vor allem Zellen ganz bestimmter Krebsarten. Gesunde Körperzellen lassen sie weitgehend unbeschadet. Auch wenn erste Behandlungen viel versprechend verlaufen: Wundermittel sind auch die neuen Design-Medikamente nicht.

Von Claudia Eberhard-Metzger

Bei einer Routineuntersuchung entdeckte der Betriebsarzt bei Gerhard Kraus eine verdächtige Zunahme der weißen Blutkörperchen – er tippte auf einen grippalen Infekt und schickte den Berufsfeuerwehrmann zum Hausarzt. Innerhalb kurzer Zeit kletterten die Werte von 12 000 über 40 000 bis zu bedrohlichen 70 000 Zellen pro Mikroliter Blut. „Das ist kein grippaler Infekt“, sagte der Hausarzt. „Das ist Leukämie.“

„Ein Schlag ins Genick“, erinnert sich der sympathische Mannheimer, sei diese Nachricht für ihn und seine Familie gewesen. Doch wie ernst es tatsächlich um ihn stand, wurde ihm erst klar, als ihm eine Klinikärztin nach der Untersuchung empfahl, die verbleibende Zeit zu nutzen, um „alles zu regeln“. Das war 1993. Gerhard Kraus war damals 53 Jahre alt und hörte zum ersten Mal in seinem Leben von einer Krankheit namens „chronische myeloische Leukämie“.

Heute, im Herbst 2001, bereiten sich Gerhard Kraus und seine Frau auf eine mehrwöchige Amerikareise zu Tochter und Enkelkindern vor. Dass ihm das möglich ist, führt der Patient in erster Linie auf sechs längliche orange Kapseln mit einem unscheinbaren Pulver zurück, die er seit dem 5. August 1999 täglich einnimmt: „Meine Werte“, sagt Kraus freudig, „sind seither konstant, und es geht mir ausgesprochen gut.“

Das war nicht immer so. Zu Beginn seiner Erkrankung wurde er mit dem Wirkstoff Interferon-alpha behandelt: „Fünf Jahre lang täglich eine Spritze mit 3,5 Millionen Einheiten.“ Schlapp und „grippig“ habe er sich die ganze Zeit über gefühlt, hinzu kam ein böser Spritzenabszess und im Herbst 1998 die Botschaft, dass das Standardtherapeutikum bei ihm nicht mehr wirkte.

Maßgeschneiderte Medikamente

Es folgte eine aggressive Chemotherapie. Alle Haare fielen ihm aus, ständige Übelkeit und große körperliche Schwäche quälten ihn. „Aber die Tortur hat etwas gebracht“, sagt er. Weihnachten 1998 war er wieder zu Hause. In sechs Monaten, hieß es, würde die nächste Chemotherapie notwendig werden.

Sie sollte ihm erspart bleiben. Es gäbe da „etwas Neues aus Amerika“, hörte er in der Klinik. Am 4. August 1999 erreichte ihn der Anruf seines behandelnden Arztes. Gleich am nächsten Morgen solle er ins Krankenhaus kommen, das neue Medikament sei mit einem Boten von der Pharmafirma Novartis in Nürnberg zur III. Medizinischen Klinik nach Mannheim unterwegs.

Gerhard Kraus war einer der ersten Patienten in Deutschland, die im Rahmen eines „Expanded-Access“-Programms in eine klinische Studie zur Prüfung des neuen Krebsmedikamentes „STI571“ („Imatinib“, Handelsname „Glivec“) aufgenommen wurden. Wie STI wirkt, weiß der Patient nicht. Gerhard Kraus hat nie danach gefragt, und es interessiert ihn auch nicht: „Es hält die bösen Zellen nieder“, sagt er: „Das ist das Einzige, was für mich zählt.“ Er wisse sehr wohl, dass er an einer unheilbaren Krankheit leide. Aber sie sei jetzt schon seit zwei Jahren „im grünen Bereich“ – und da solle sie „gefälligst auch bleiben“.

STI, oder Glivec, ist eine Hoffnung – nicht nur für die Patienten und ihre Le-



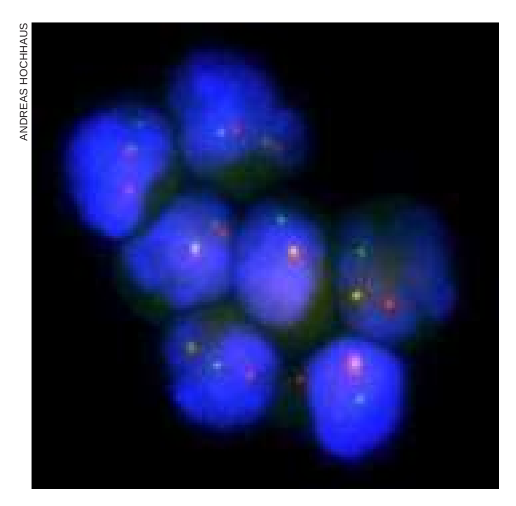
Die Krebsforschung erschließt immer ausgefeiltere Therapiemethoden. Die neuesten Medikamente greifen passgenau spezifische molekulare Mechanismen von Krebszellen an.

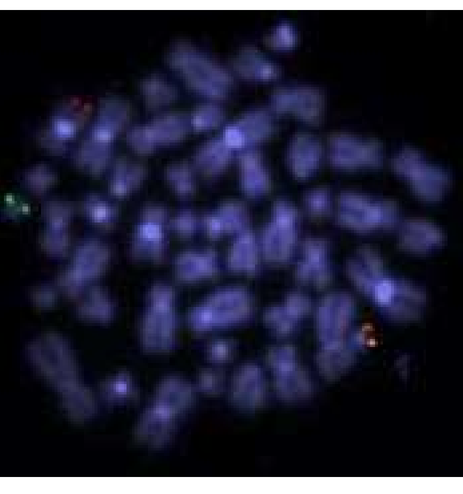
bensqualität, sondern mehr noch hinsichtlich der revolutionären Strategie, die das neue Medikament repräsentiert. „Die bisherigen Erfahrungen mit STI571“, kommentiert Privatdozent Dr. Andreas Hochhaus vom Kompetenznetz Leukämie in Mannheim, „belegen das große Potenzial einer molekular ausgerichteten Therapie onkologischer Erkrankungen.“ STI ist eines der ersten Medikamente, das auf molekularer Ebene maßgeschneidert wurde, und der Vertreter einer völlig neuen Klasse von Krebsmedikamenten, den „Signaltransduktionshemmern“ (STI steht für **S**ignal-**T**ransduktions-**I**nhibitor). Im Unterschied zu den herkömmlichen Krebsmedikamenten, den das Zellwachstum hemmenden so genannten Cytostatika, die zwischen gesunden und entarteten Zellen nur bedingt unterscheiden können (siehe Interview auf Seite 52/53) und deshalb häufig mit schweren Nebenwirkungen einhergehen, versuchen die neuen Wirkstoffe präzise an molekularen Informationswegen anzusetzen, die für Tumorzellen typisch sind.

Die Forscher wissen heute, dass die scheinbar uneinheitliche Erkrankung Krebs eine Krankheit der Zellen, Gene und Moleküle ist. Die Mediziner kennen etwa zweihundert Tumorarten. Bei aller Vielfalt an äußeren Erscheinungsbildern geht die Krankheit doch meist auf jeweils eine einzige Zelle zurück, in deren Erbsubstanz sich genetische Veränderungen – Mutationen – angehäuft haben. Daraufhin entstehen Genprodukte, Proteine, die das geregelte Zellleben außer Takt geraten lassen. Schritt für Schritt wandelt sich eine normale Zelle in eine bösartige um, die sich den wachstumsregulierenden Signalen des Körpers entzieht und sich auf Kosten gesunder Zellen vermehrt (siehe Kasten Seite 49).

Die neuen Ansatzpunkte für die Therapie von Krebserkrankungen ergeben sich aus diesen grundlegenden molekularen Einsichten. Die Wirkungsweise von STI571 bei der chronischen myeloischen (oder chronisch-myeloischen) Leukämie zeigt beispielhaft, wie es gelingen kann, den Krebs erfolgreich an seiner molekularen Wurzel zu packen. Bei dieser Erkrankung vermehren sich weiße Blutzel- ▶

ANDREAS HOCHHAUS





Bei chronischer myeloischer Leukämie sind offenbar zwischen zwei Chromosomen von Blutzellen Stücke vertauscht (rot und grün zugleich markierte Punkte). Links erscheint der Kernbereich der Zellen blau, rechts sind die Chromosomen einer Zelle in einer bestimmten Teilungsphase zu sehen.

len unkontrolliert. Die augenscheinliche Ursache für deren maßloses Wachstum bei dieser Art von Leukämie ist ein mit dem Lichtmikroskop erkennbarer genetischer Defekt (vergleiche Bilder oben): Die entarteten weißen Zellen sind an einem veränderten Chromosom zu erkennen: dem Philadelphia-Chromosom. Es entsteht, wenn sich in einer der Stammzellen im Knochenmark, aus denen die weißen Blutzellen hervorgehen, ein Unfall ereignet: Während sich die Zelle teilt, erhält Chromosom 9 fälschlicherweise ein Stück von Chromosom 22 und dieses umgekehrt ein Stück von Chromosom 9. Diese Umlagerung von Erbmaterial – die Genetiker sprechen von einer Translokation – ist charakteristisch für die meisten Fälle von chronischer myeloischer Leukämie. Das Philadelphia-Chromosom ist für die Krankheit so typisch, dass die Ärzte es schon lange als Marker-Chromosom für die Diagnose heranziehen.

Aber warum geraten Zellen, die das verdächtige Philadelphia-Chromosom tragen, aus ihrem Wachstumsgleichgewicht? Dieses Rätsel konnten erst die Molekularbiologen lösen. Sie erkannten, dass wegen der Fusion der Chromosomenstücke zwei Gene zusammentreffen, die normalerweise nichts miteinander zu tun haben: das Gen *abl* von Chromosom 9 und das Gen *bcr* von Chromosom 22. Die beiden Gene werden zu unmittelbaren Nachbarn – mit fatalen Folgen: Zusammen bilden sie ein so genanntes Onkogen, ein Krebs erzeugendes Gen: *bcr-abl*. Das Produkt dieses veränderten Gens ist ein abnormer Eiweißstoff, der die Blutzellen dazu antreibt, sich übermäßig zu vermehren. Gegen dieses Krebs erregende Protein – eine bestimmte Tyrosinkinase, also ein Enzym – richtet sich das neue Krebsmedikament Glivec oder STI571.

Bedrohliche Eigenstimulation

Tyrosinkinasen sind an sich im gesunden Zellleben unverzichtbar. Diese Enzyme sind beispielsweise wichtige Mitglieder eines außerordentlich bedeutsamen biologischen Prozesses, den Wissenschaftler Signaltransduktion nennen, also Signalübermittlung. Es handelt sich dabei um eine Kommunikationskette im Innern der Zelle, die auf eine passende äußere Nachricht hin in Bewegung gerät: Signale, die außen bei der Zelle eintreffen, werden aufgenommen und bis zum Zellkern und zu den Genen weitergereicht (SdW 10/2000, S. 60). Wichtig ist die Signaltransduktion deshalb, weil sie die einzelne Zelle – gewissermaßen ein eigenständig organisiertes Individuum – mit den Bedürfnissen und Anforderungen des gesamten Organismus in Einklang bringt. Professor Bernd Groner vom Georg-Speyer-Haus in Frankfurt erforscht die Signaltransduktion von Zellen intensiv. Er veranschaulicht die komplexe molekulare Nachrichtenübertragung mit einem Beispiel aus dem täglichen Leben: „Es ist ganz so, als würde bei Ihnen zu Hause der Postbote an der Tür klingeln, um eine wichtige Nachricht zu überbringen, auf die Sie unmittelbar reagieren müssen.“

In diesem Bild repräsentiert der Postbote ein äußeres Ereignis, etwa ein Protein oder einen anderen Signalstoff, der an die Zelle anklopft. Dies geschieht allerdings nicht an einem beliebigen Ort, sondern an einem besonderen Klingelknopf, einem so genannten Rezeptor. Über den Rezeptor – ein speziell geformtes Protein, das den Außen- und den Innenraum der Zelle miteinander verbindet – gelangt die Nachricht in das Zellinnere und wird dort von einem Familienmitglied – einem eigens dafür vorgesehenen Molekül – in Empfang genommen. Nun wird die Nachricht von einer Reihe anderer Moleküle quer durch das Cytoplasma bis hin zum Zellkern weitergereicht.

Im Inneren des Zellkerns trifft die Nachricht auf den eigentlichen Empfänger – ein Gen, das auf die Botschaft in einer bestimmten Weise antwortet. Dieses Gen kann beispielsweise veranlassen, dass sich die Zelle teilt oder für eine bestimmte Aufgabe im Organismus spezia-



lisiert, sich also differenziert. Das Gen kann die Zelle auch dazu bringen, ein spezielles Stoffwechselprodukt herzustellen, oder es kann sie dazu antreiben, den programmierten Zelltod, die Apoptose, einzuleiten.

Selbstgespräch statt Kommunikation

Die Tyrosinkinasen stehen in der Kette dieser Nachrichtenübertragung ganz oben: Sie zählen zu den ersten und auch wichtigsten intrazellulären Übermittlern von Nachrichten. Verändert sich einer dieser zentralen Übermittler – beispielsweise als Folge eines molekularen Unfalls wie im Fall der chronischen myeloischen Leukämie – und wird er dadurch überaktiv, muss das weit reichende ungünstige Auswirkungen haben: Die normalerweise mit der zellulären Außenwelt harmonisch abgestimmte Kommunikation gerät zum egozentrischen Selbstgespräch. Die Zelle teilt sich jetzt unkontrolliert: Zahllose entartete Zellen entstehen, die auf Grund ihrer genetischen Schäden und ihrer Funktionsunfähigkeit zu einer Gefahr für den gesamten Organismus werden.

Derart gestörte Kommunikationswege im Innern der Zelle sind nicht nur für die chronische myeloische Leukämie bedeutend. „Die Erforschung des Signaltransduktionsweges, seiner Unterschiede in normalen und entarteten Zellen und der Möglichkeiten, zielgerichtet mit tumorzellspezifischen Unterschieden zu interferieren, ist derzeit eines der wichtigsten Gebiete der molekularen Onkologie", bewertet Bernd Groner den Stellenwert des Forschungsschwerpunktes.

Der Wirkstoff von STI571, ein 2-Phenylaminopyrimidin-Derivat, interferiert mit der oben genannten überaktiven ▶

Molekularbiologie der Krebsentstehung

Rückblick auf hundert Jahre Krebsforschung

Für den deutschen Chemiker Justus von Liebig (1803–1873) war das Bemühen des Wissenschaftlers, eine brauchbare Hypothese über einen Zusammenhang zu formulieren, gleichbedeutend mit der Suche nach einem „Hauptschlüssel, mit dem sich alle Türen öffnen lassen". Dass die Krebserkrankungen trotz ihrer Vielgestaltigkeit auf einen gemeinsamen Nenner zurückzuführen seien – diese Hypothese wurde erstmals zu Beginn des 20. Jahrhunderts formuliert.

Einer der Ersten, die dem Rätsel Krebs auf die Spur kamen, war der Würzburger Zoologe und Zellforscher Theodor Boveri (1862–1915): Er postulierte im Jahr 1902, dass die Krebsentstehung weiter nichts sei als die Folge einer fehlerhaften Verschmelzung der Chromosomen bei der Zellteilung. Dieser biologische Ansatz war damals revolutionär. Zuvor wurde die Geschwulst nicht als dem Körper zugehörend, sondern als eine Art körperfremder, tierischer Parasit betrachtet. Andere glaubten, dass es sich bei Tumoren um Gebilde aus Schleim und Plasma handele, die irgendwie zu großen Massen herangewachsen waren.

Die führenden Anatomen lehnten Boveris biologische Erklärung der Geschwulstentstehung seinerzeit vehement ab – der Zellbiologe jedoch blieb überzeugt davon, dass die Krebsforschung nur durch die Biologie auf Eigenschaften geführt werden könnte, die „aus dem Studium der Tumoren selbst nicht entnommen werden können und doch deren Wesen ausmachen". Boveri sollte Recht behalten.

In den zwanziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts bauten andere Wissenschaftler seine Überlegung zur „Mutationstheorie der Geschwulstentstehung" aus. Einer von ihnen war der deutsche Chirurg und spätere Gründer des Deutschen Krebsforschungszentrums in Heidelberg Karl Heinrich Bauer (1890–1978). Auch er hielt die „Geschwulstbildung ihrem elementarsten Wesen nach für ein Problem der allgemeinen Biologie". Die Formenvielfalt der Krebserkrankungen, schrieb Bauer 1928, müssten „letzten Endes auf plötzlich auftretende Veränderungen im Chromosomenbestand einer Körperzelle" zurückgeführt werden. Die „fruchtbarste und zugleich einfachste Betrachtungsweise des Geschwulstproblems" sei, „dass die Gene der Zelle die Träger der Geschwulsteigenschaften" sind.

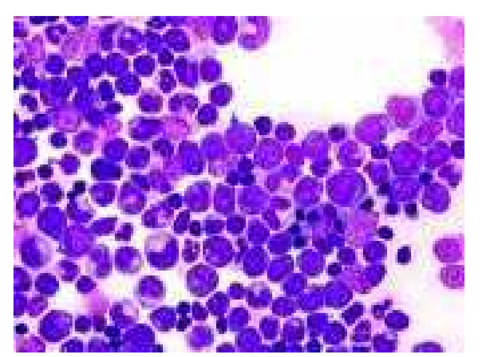
Was ein Gen ist und was ein Gen tut, ahnten damals allerdings weder Bauer noch irgendein anderer Forscher seiner Zeit. Nachdem der Krebs auf eine Krankheit sich irgendwie unsachgemäß verhaltender Zellen reduziert worden war, bewegte sich jahrzehntelang nichts mehr in der Krebsforschung. Wie sollten Gene eine Zelle dazu veranlassen, sich normal oder unkontrolliert zu vermehren? Der wissenschaftliche Stillstand sollte sich erst mit dem Einzug der Molekularbiologie ändern – jener Wissenschaft, die sich mit den Lebenserscheinungen im Reich der Moleküle beschäftigt. Seit der Beschreibung der Struktur des Erbmoleküls Desoxyribonukleinsäure (DNS) durch Francis Crick und James Watson im Jahr 1953 und der Erkenntnis, dass Gene bestimmte Abschnitte dieses Moleküls sind, hat auch die Krebsforschung gehörigen Auftrieb erfahren.

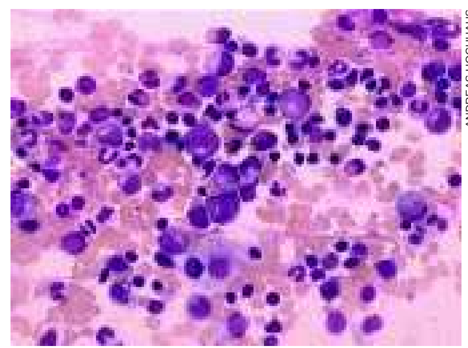
In den letzten beiden Jahrzehnten haben die Forscher vor allem zwei Gruppen von Genen ausfindig gemacht, die bei Krebs häufig verändert sind: die Onkogene und die Tumor-Suppressor-Gene. Deren koordinierte Zusammenarbeit garantiert normalerweise, dass eine Zelle die Grenzen ihres Wachstums akzeptiert. Ist jedoch die Kooperation dieser beiden Genklassen gestört, kann die Zelle aus ihrem abgestimmten Wachstumstakt geraten.

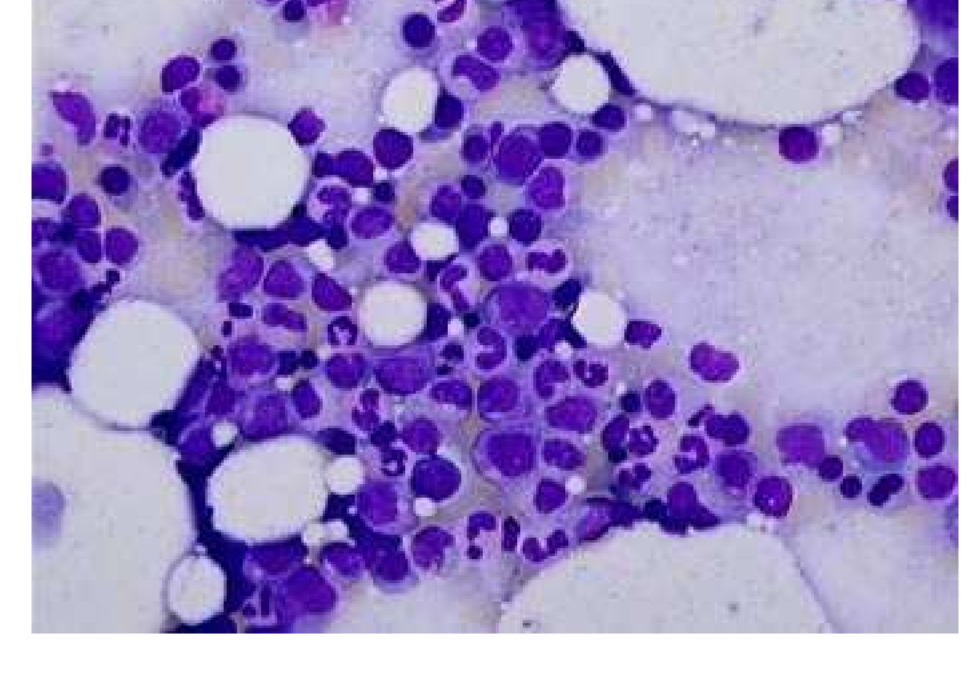
Die Funktionsweise der beiden Gengruppen kann mit der eines Autos verglichen werden. Die Onkogene sind in diesem Bild die Gaspedale, die Tumor-Suppressor-Gene die Bremsen. Wird das Gaspedal zu fest gedrückt (dies entspricht der Mutation eines Onkogens), gerät der Wagen (die Zelle) außer Kontrolle. Gleiches ereignet sich, wenn die Bremsen nicht mehr funktionieren (dies entspricht der Veränderung eines Tumor-Suppressor-Gens).

Die genetischen Defekte innerhalb der Zelle können durch äußere Einflüsse entstehen, beispielsweise durch die Einwirkung von karzinogenen (Krebs erzeugenden) Substanzen, wie sie etwa im Zigarettenrauch enthalten sind. Aber auch innere Fehler, zum Beispiel eine gewisse erbliche Veranlagung, können zu Grunde liegen. Sicher ist, dass eine einzelne Ursache für die Entstehung von Krebs nicht ausreicht. Stets müssen mehrere Faktoren zusammenkommen.

Schon seit über einem Jahrhundert erforschen Wissenschaftler die Krebserkrankungen. Trotz aller Fortschritte – ein wirklicher Durchbruch hat sich noch nicht ereignet. Hinter jeder Tür, welche die Forscher bislang aufschlossen, öffneten sich weitere Türen zu unbekannten Räumen. Was die Molekularbiologen jedoch mittlerweile von der Krebsentstehung wissen, könnte sich möglicherweise als der lange gesuchte Hauptschlüssel erweisen, mit dem sich alle Türen öffnen lassen.







Bei chronischer myeloischer Leukämie reifen bestimmte weiße Blutzellen nicht aus und vermehren sich zahlreich (links). Nach vierwöchiger Behandlung mit Glivec hat sich das Zellbild günstig verändert (rechts). Nach einem halben Jahr sieht es normal aus (unten).

ANDREAS HOCHHAUS

Tyrosinkinase, die wegen des Philadelphia-Chromosoms fälschlich gebildet wird. Die durch diesen genetischen Fehler gestörte Kommunikation wird somit an einem der ersten und wichtigsten molekularen Übermittlungsschritte in der Zelle geblockt: Die ohne äußere Absprachen entstandene Wachstumsbotschaft erreicht dank des Medikaments nicht mehr das „Headquarter“, also den Zellkern mit den Genen. Die unkontrollierte Vermehrung der Zelle bleibt nun aus.

Die ersten klinischen Phase-I-Studien (die Prüfung der Verträglichkeit an gesunden Versuchspersonen) mit dem neuen Krebsmedikament STI571 begannen im Jahr 1998 in den Vereinigten Staaten. Zwischen August 1999 und Juni 2000 wurden in 32 Zentren aus sechs Ländern, darunter die III. Medizinische Universitätsklinik in Mannheim, Patienten für eine Phase-II-Studie rekrutiert. (In dieser Phase der klinischen Prüfung wird ein neues Medikament an den ersten Patienten erprobt.)

Die Ergebnisse der Phase-II-Studie erwiesen sich als so viel versprechend, dass die amerikanische Gesundheitsbehörde das neue Krebsmedikament bereits im Mai 2001 für die Behandlung von Patienten mit chronischer myeloischer Leukämie zugelassen hat. Auch in Deutschland soll es voraussichtlich noch in diesem Jahr auf den Markt kommen. Eingesetzt wird es derzeit in der ersten Phase der Erkrankung und in der so genannten Übergangsphase, wenn die Standardtherapie mit Interferon-alpha versagt, sowie in der Blastenkrise, dem dritten Stadium.

Neue klinische Studien prüfen zur Zeit, ob Glivec möglicherweise auch geeignet sein könnte, um solide Tumoren zu behandeln. Wie sich herausgestellt hat, beeinflusst das Medikament noch weitere Tyrosinkinasen, zum Beispiel c-kit. Diese Kinase wird verdächtigt, das Wachstum so genannter gastrointestinaler Stromatumoren zu fördern. Es handelt sich dabei um Krebserkrankungen des Bauchraums, für die es bislang keine medikamentöse Therapie gibt.

Euphorie wäre verfrüht

Erste Studienergebnisse deuten darauf hin, dass Glivec auch bei dieser Tumorerkrankung wirksam sein könnte. „Im Rahmen von Pilotstudien“, berichtet Andreas Hochhaus, „sind eindrucksvolle klinische Remissionen beobachtet worden.“ Auch bei kleinzelligen Lungenkarzinomen (siehe „Lungenkrebs“, Spektrum der Wissenschaft 7/2000, S. 54) haben die Wissenschaftler eine übermäßig aktive c-kit gefunden. Eine klinische Pilotstudie dazu läuft derzeit in Deutschland unter Leitung der Mainzer Universitätsklinik. Ergebnisse liegen noch nicht vor. Auf Grund ihrer biologischen Charakteristik könnten möglicherweise auch Melanome, das Glioblastom (ein Hirntumor) oder das Prostatakarzinom Kandidaten für eine Behandlung mit STI571 sein. Ob diese Krebsarten gleichfalls auf das Medikament ansprechen, wird momentan untersucht.

Trotzdem ist eine allzu große Euphorie über das neue Design-Medikament verfrüht. Denn bei allen Besonderheiten und Hoffnungen – STI ist kein Wundermittel und schon gar kein Allround-Krebsmedikament: Es hilft nur einer ganz bestimmten Patientengruppe. Es verursacht Nebenwirkungen, etwa Übelkeit, Muskelkrämpfe, Ödeme oder Hautausschläge. Und es bereitet ein Problem, das auch von herkömmlichen Krebsmedikamenten leidlich bekannt ist: Die Tumorzellen widerstehen nach einiger Zeit dem Wirkstoff, sie werden resistent.

Dass Leukämiezellen wieder auftreten, obwohl die Behandlung mit STI weitergeführt wird, ist bislang vor allem bei Patienten im fortgeschrittenen Krankheitsstadium beobachtet worden. Die wiedererlangte Widerstandskraft der

entarteten Zellen beruht vornehmlich auf zwei Abwehrstrategien, welche die fortgeschrittene Krebszelle entwickelt. Entweder vervielfältigt sie kurzerhand das *bcr-abl*-Gen. Die nach dieser „Gen-Amplifikation“ entstehenden übergroßen Mengen der abnormen Tyrosinkinase lassen sich in ihrer wachstumsfördernden Wirkung kaum mehr medikamentös unterdrücken. Oder aber das *bcr-abl*-Gen selbst verändert sich durch eine neuerliche Mutation. Das Resultat ist ein verändertes Protein, das der maßgeschneiderte Wirkstoff Glivec nicht mehr blockieren kann.

In klinischen Studien wird jetzt untersucht, wie man solchen Resistenzen und Krankheitsrückfällen begegnen kann. Geprüft wird beispielsweise, ob STI571 mit herkömmlichen Chemotherapeutika kombiniert werden sollte, um Rückfälle zu vermeiden. Ob Patienten, die neu an chronischer myeloischer Leukämie erkrankt sind, von einer sofortigen und alleinigen Therapie mit STI profitieren, versucht derzeit eine internationale Phase-III-Studie zu klären, an der mehr als tausend Patienten teilnehmen. (Bei Phase III einer klinischen Medikamentenprüfung wird eine Substanz nach strengen Regeln mit größeren Patientenzahlen erprobt.) Verglichen wird die STI-Monotherapie mit der bisherigen, bewährten Standardtherapie: der Behandlung mit Interferon-alpha, einem Botenstoff des Immunsystems. Ergebnisse liegen noch nicht vor.

Wie alle herkömmlichen Krebsmedikamente ist STI ein lebensverlängerndes Mittel. Heilen kann es zumindest die Patienten in der Spätphase der Erkrankung nicht. In der frühen Phase der chronischen myeloischen Leukämie könnte möglicherweise eine Heilung, vielleicht in Kombination mit Inferferon-alpha, erzielt werden. Ob sich diese Hoffnung realisieren wird, ist noch völlig unklar. Ebenso ist unbekannt, welche Nebenwirkungen das Medikament auf lange Sicht haben könnte. Es werden noch Jahre vergehen, bis diese wichtigen Fragen geklärt sind. „Zur Zeit“, so betont Andreas Hochhaus vom Mannheimer Universitätsklinikum, wo seit August 1999 über 300 Patienten mit STI behandelt wurden, „müssen wir mit der Aussage, dass Patienten, die STI einnehmen, grundsätzlich eine deutlich bessere Prognose haben oder gar geheilt werden könnten, noch ausgesprochen vorsichtig sein.“

Glivec ist der am weitesten fortgeschrittene Vertreter von über 16 Tyrosinkinase-Hemmern, die derzeit entwickelt und in ersten klinischen Studien erprobt werden. Vor allem zwei weitere dieser Enzymhemmer machen im Moment von sich reden: „Iressa“ von der Pharmafirma AstraZeneca und „Tarceva“ von Hoffmann-La Roche.

Design-Medikamente

Bei Iressa handelt es sich um einen Wirkstoff gegen das nicht-kleinzellige Lungenkarzinom. Die Substanz blockiert eine Tyrosinkinase, die von einem bestimmten Rezeptor abhängig ist, nämlich der Antenne der Zellen für den Wachstumsfaktor EGF (*epidermal growth factor*). Solche EGF-Rezeptoren haben die Molekularbiologen verstärkt auf der Oberfläche vieler Tumorzellen entdeckt. In ersten klinischen Studien sprachen Patienten, die an einem nicht-kleinzelligen Lungenkrebs leiden, gut auf Iressa an. Auch die Kombination mit herkömmlichen Krebsmedikamenten erwies sich als wirksam. Derzeit läuft eine Phase-III-Studie mit Lungenkrebs-Patienten, gegen deren Leiden weder Chirurgie noch Strahlentherapie etwas ausrichten konnten. Frühe klinische Studien erproben, ob sich Iressa möglicherweise auch eignen könnte, um Prostata-, Nierenzell- und Blasenkrebs sowie bestimmte Hirntumoren, so genannte Glioblastome, zu behandeln.

Wie auf dem Jahreskongress der Amerikanischen Gesellschaft für Klinische Onkologie in San Francisco im Frühsommer 2001 berichtet, wird Tarceva, ein zweiter, von der amerikanischen Biotechfirma Genentech mitentwickelter EGF-Rezeptor-Hemmer, zurzeit zur Behandlung des fortgeschrittenen Brustkrebses erprobt. Die EGF-Rezeptor-Hemmer erwiesen sich bislang als vergleichsweise nebenwirkungsarm.

Gegen einen anderen wichtigen Teilnehmer des zellulären Nachrichtenübermittlungssystems richten sich weitere Neuentwicklungen mit dem nahezu unaussprechlichen Namen „Farnesyltransferase-Hemmer“ oder kurz „ras-Hemmer“. Sie werden gerade in klinischen Phase-II-Studien unter anderem zur Therapie der akuten Leukämie und des fortgeschrittenen Brustkrebses getestet. Experten zählen die ras-Hemmer zum Spannendsten, was die onkologische Forschung heute zu bieten hat. Ihr kryptischer Name bezieht sich auf „ras“, ein ▶



Die Lungen- und Lebermetastasen (linke Aufnahmen; oben Röntgenbild, unten computertomografische Aufnahme) einer Brustkrebspatientin bildeten sich während der Behandlung mit dem Antikörper Herceptin zurück. Die rechten Aufnahmen entstanden fünf Monate nach Therapiebeginn.

PROF. GERHARD SCHALLER, MARIENHOSPITAL HERNE / RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM

verändertes Protein im Innern der Zelle, das gebildet wird, weil ein verändertes Gen, das „*ras*-Onkogen“, dies veranlasst. Dieses Onkogen ist in den Zellen sehr vieler Krebsarten des Menschen aktiv. Sein Produkt, das ras-Protein, übermittelt Wachstumssignale von der äußeren Zellmembran ins Innere der Krebszelle. Es wird als Signalmolekül aber erst dann aktiv, wenn ihm von einem bestimmten Enzym, eben der Farnesyltransferase, ein kleines Molekül übertragen wird: eine Farnesylgruppe.

Wenn es gelingt, diesen frühen Aktivierungsschritt in der Kette der Signalübertragung zu unterbinden, könnte die Zelle molekülgenau daran gehindert werden, sich unkontrolliert zu teilen. Farnesyltransferase-Hemmer haben in Versuchen mit Tieren Tumoren vollständig rückgebildet. Ob sie Gleiches auch beim Menschen bewirken können, müssen die neuen Wirkstoffe erst noch beweisen.

Mediziner erforschen auch, ob sie zur zielgenauen Krebsbekämpfung bestimmte Mechanismen der Immunabwehr nutzen können. Hierzu bieten sich Antikörper an, die in einer großen Vielfalt erscheinen. Diese erkennen auf Zellen sehr spezifische Strukturen, das heißt, sie docken an bestimmte Oberflächenmerkmale einer Zelle an (und stacheln dann im natürlichen Fall das Immunsystem an, diese Zelle zu vernichten). Und da sich Krebszellen äußerlich von anderen Zellen unterscheiden, wären Antikörper, die sich genau dagegen richten, eine ideale Waffe, auch etwa, um

Perspektive

„Eine Pille gegen Krebs wird es nie geben”

Interview mit Prof. Dr. Rolf Kreienberg

Spektrum der Wissenschaft: *Herr Professor Kreienberg, nach Jahren der Stagnation scheint Bewegung in die Onkologie gekommen zu sein. Design-Medikamente machen von sich reden, die den Krebs selektiv und mit weniger Nebenwirkungen bekämpfen sollen. Welchen Stellenwert haben diese neuen Medikamente und welche Patienten profitieren von ihnen?*

Prof. Dr. Rolf Kreienberg: Es ist tatsächlich so, dass seit kurzem die ersten Repräsentanten einer völlig neuen Gruppe von Medikamenten mit neuen Substanzen und neuen Ansatzpunkten zur Verfügung stehen. Hervorgegangen sind sie aus der molekularbiologischen Forschung, die die Ursachen der Krebsentstehung in der Zelle, bei den Genen und den Molekülen sucht. Das ist ein sehr interessanter, zukunftsweisender Ansatz. Man muss aber klar sagen, dass die bislang verfügbaren Medikamente auf Grund ihrer hohen Selektivität nur bei einer vergleichsweise geringen Anzahl von Patienten angewendet werden können.

Spektrum: *Welche Medikamente und Patientengruppen sind das?*

Kreienberg: Es handelt sich dabei zum Beispiel um Herceptin, einen Antikörper, der beim metastasierten Brustkrebs verwendet werden kann, sofern die entarteten Zellen ein bestimmtes Oberflächenmerkmal tragen. Das zweite Medikament, STI571 oder Glivec, wirkt bei einer bestimmten Gruppe von Leukämiepatienten, deren Zellen in charakteristischer Weise verändert sind. Bis auf diese beiden Medikamente und zwei weitere Antikörper hat noch keines der neuen Medikamente die klinische Reife erreicht .

Spektrum: *Die Therapie mit herkömmlichen Krebsmedikamenten, den Cytostatika, ist nach wie vor Standard. Welche Fortschritte sind in jüngster Zeit in diesem weniger im Vordergrund stehenden, konventionellen Bereich erarbeitet worden? Was kommt dem Patienten unmittelbar zugute?*

Kreienberg: Hier sind erhebliche Fortschritte erzielt worden, von denen zum gegenwärtigen Zeitpunkt insgesamt noch weit mehr Patienten profitieren als von den hoch gelobten innovativen Medikamenten. Denn auch die schon seit nunmehr dreißig Jahren bekannten klassischen Cytostatika sind weiterentwickelt worden.

Die Cytostatika der zweiten und dritten Generation wirken selektiver und zerstören nicht mehr wahllos entartete und gesunde Zellen. Dies ist mit verschiedenen Methoden erreicht worden, die alle zum Ziel haben, die Nebenwirkungen zu minimieren, die Wirkung an der Tumorzelle aber zu optimieren. Ein Beispiel sind eingekapselte Cytostatika. Die Kapseln können nur von Enzymen, die für Tumorzellen typisch sind, aufgelöst werden. Erst dann wird das Zellgift, das Cytostatikum, frei. Gesunde Zellen bleiben weitgehend unbeschadet. Auch in der herkömmlichen medikamentösen Therapie haben also Innovationen stattgefunden – es wurde nur nicht groß darüber geredet.

Spektrum: *Gibt es noch weitere solcher stillen Innovationen?*

Kreienberg: Ja, man darf nicht die Ergebnisse der – sehr langwierigen – Therapieoptimierungs-Studien vergessen, die für den Patienten von entscheidender und konkreter Bedeutung sind. Solche Studien ermitteln beispielsweise, welche Cytostatika in welcher Weise miteinander kombiniert werden müssen, um eine bestimmte Tumorart bestmöglich zu bekämpfen. Wie wichtig die richtige Kombination von Cytostatika ist, zeigt das Beispiel der kindlichen Blutkrebserkrankungen. Der Einsatz herkömmlicher Cytostatika in der optimalen Kombination und Dosierung hat dort zu Steigerungsraten des Überlebens von fünfzig bis sechzig Prozent geführt. Das ist ein Riesenergebnis!



Rolf Kreienberg ist Präsident der Deutschen Krebsgesellschaft und Direktor der Universitäts-Frauenklinik in Ulm.

einen bestimmten Rezeptor für Wachstumssignale zu blockieren. Mit Hilfe zellbiologischer und gentechnischer Methoden können heute beliebige Mengen gleich aussehender (monoklonaler) Antikörper hergestellt werden. Die Angriffsstellen für solche künstlichen Antikörper auf der Oberfläche der Tumorzellen sind verschiedene Rezeptoren – also die Klingelknöpfe der zellulären Signalübertragung.

Prominentestes Beispiel für diese Klasse neuer Krebsmedikamente ist der monoklonale Antikörper „Trastuzumab“ von Hoffmann-La Roche. Unter dem Handelsnamen „Herceptin“ ist er seit August 2000 in Deutschland zur Therapie des metastasierten Brustkrebses zugelassen (Bilder auf Seite 51).

Herceptin richtet sich gegen den Wachstumsrezeptor HER2 (***h**uman **e**pidermal growth factor **r**eceptor**2***). Er kommt auf der Oberfläche von Krebszellen, vor allem aber bei Brustkrebszellen, sehr viel häufiger vor als auf normalen Zellen (Bilder auf Seite 54). Ursache ist ein in der Krebszelle vervielfältigtes (amplifiziertes) Gen, das die Bauanleitung für das im Übermaß gebildete Oberflächenmerkmal bereitstellt. In der gesunden Zelle ist der HER2-Rezeptor die erste Anlaufstelle für ein Signal, das die Zelle dazu stimuliert, sich zu teilen.

Ist die Membran übermäßig mit HER2-Rezeptoren bestückt, wird die Zelle ebenso übermäßig dazu angeregt, sich zu vermehren. „Das ist in etwa so, als würde man in einem Auto einen Backstein auf das Gaspedal legen“, vergleicht Professor Dr. Rolf Kreienberg, Direktor der Universitätsfrauenklinik in Ulm und Präsident der Deutschen Krebsgesellschaft, das molekulare Geschehen. Der Antikörper in Herceptin bindet anstelle des Wachstumssignals an den HER2-Rezeptor und verhindert so, dass das Wachstumssignal in das Innere der Zelle weitergeleitet wird – es macht gleichsam das Gaspedal für den Backstein unzugänglich.

Antikörper als Medikament

Aus dieser molekularen Wirkweise ergibt sich, dass Herceptin das überschießende Zellwachstum nur bei denjenigen Brustkrebspatientinnen verlangsamen helfen kann, die den Rezeptor in größerer Menge auf den Zellen tragen. Ob dem so ist, kann mit Hilfe eines zuverlässigen diagnostischen Tests ermittelt werden. „Rund zwanzig bis dreißig Prozent aller Brustkrebspatientinnen sind HER2-positiv“, sagt Rolf Kreienberg. „Diese Patientinnen können von Herceptin profitieren – bei HER2-negativen Tumoren macht es keinen Sinn, den monoklonalen Antikörper zu verabreichen.“

Große klinische Studien prüfen, ob die Schlagkraft des Antikörpers verbessert werden kann, wenn man ihn mit Chemotherapeutika kombiniert. Auch ob andere Krebsarten ansprechen, bei denen HER2-Rezeptoren im Übermaß zu finden sind – etwa Lungenkrebs –, wird derzeit untersucht. Mit der Chemotherapie verglichen ist Herceptin besser verträglich. Bisweilen kann es jedoch zu schweren Nebenwirkungen kommen, die das Herz betreffen.

Zu den neueren Krebsmedikamenten zählen noch zwei weitere Antikörper, die sich gegen Rezeptoren auf der Oberfläche von Tumorzellen richten: „Rituximab“ (Handelsname „Mabthera“, von Hofmann-La Roche) ist in Europa seit 1998, „Alemtuzumab“ (Handelsname „Mabcampath“, Vertrieb durch Schering) seit Juli 2001 zugelassen.

Rituximab richtet sich gegen das „CD20-Antigen“. Dieser Oberflächenre- ▶

Spektrum: *Zurück zu den Design-Medikamenten: Von außerordentlich bemerkenswerten Resultaten wird auch im Zusammenhang mit dem neuen Krebsmedikament STI571 gesprochen.*

Kreienberg: Es sind damit bei dieser speziellen Patientengruppe bis zu 98 Prozent Remissionen erzielt worden – ein geradezu unglaubliches Ergebnis. Dennoch heißt es, zunächst abzuwarten. Man muss bei neuen Medikamenten nicht nur prüfen, ob sie wirken, sondern auch, wie lange sie wirken. Es ist zu befürchten, dass Krebszellen, die derart selektiv gehemmt werden, schnell Umgehungsstrategien aktivieren. Das heißt, man beobachtet zunächst wunderbare Remissionsraten, die aber nach einiger Zeit wieder verschwinden. Das könnte ein kritischer Punkt sein.

Spektrum: *STI571 gehört zu den so genannten Signaltransduktionshemmern. Die Signaltransduktion zählt mit der Apoptose (dem programmierten Zelltod) und der Anti-Angiogenese (der Blockade von tumorversorgenden Blutgefäßen) zu den top-zitierten Themen der Krebsforschung. Welcher Ansatz verspricht den größten Erfolg?*

Kreienberg: Alle diese Forschungsgebiete hängen eng miteinander zusammen. Es geht im Wesentlichen um die Grundfragen: Wie kommuniziert der Zellkern mit dem Außen? Wie reguliert eine Zelle ihr Wachstum? Wie schützt sie sich vor Schädigungen? Darüber erhalten wir derzeit jede Menge molekularer Informationen. Jede dieser neuen Erkenntnisse über tumorzellspezifische Informations- und Signalwege bringt auch potenzielle neue Ansatzpunkte für Medikamente. Ich bin überzeugt davon, dass in den nächsten fünf Jahren eine Vielzahl von Medikamenten gegen die verschiedensten Bausteine dieser miteinander verwobenen Kaskaden auf den Markt drängen wird. Wir werden dann mindestens zehn Jahre brauchen, um sie klinisch zu prüfen. Ich bin von all diesen neuen Ansätzen begeistert – aber verhalten im Umgang mit Patienten. Denn die Begeisterung eines onkologischen Forschers hat nichts mit der Versorgung von Patienten zu tun, die heute in Not sind.

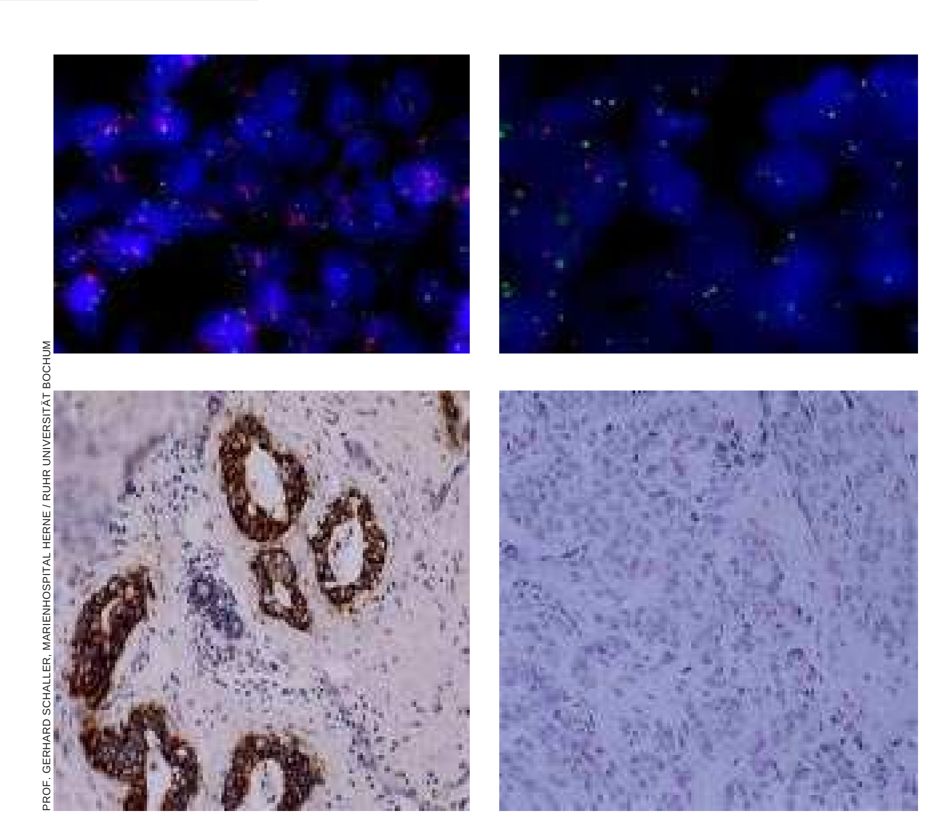
Spektrum: *Könnte aus Krebs in naher Zukunft eine langfristig beherrschbare chronische Krankheit werden?*

Kreienberg: Es ist grundsätzlich denkbar, dass es die neuen Behandlungsformen – von den molekularen Targets bis hin zur Immuntherapie – zusammen mit den herkömmlichen Strategien wie Chirurgie, Bestrahlung und Chemotherapie ermöglichen, Krebserkrankungen auf sehr verschiedenen Ebenen anzugreifen und langfristig bei guter Lebensqualität in Schach zu halten. Ob diese vielbeschworene, auf den jeweiligen Patienten individuell abgestimmte multimodale Therapie es tatsächlich eines Tages schaffen wird, den Krebs zu einer erträglichen und beherrschbaren Erkrankung wie Diabetes oder Bluthochdruck zu machen, lasse ich dennoch offen. So schön es wäre – zur Zeit weiß noch keiner, ob das wirklich funktionieren wird.

Spektrum: *Wird es irgendwann einmal das eine wirksame Medikament, die Pille gegen Krebs geben?*

Kreienberg: Eine Pille gegen den Krebs wird es meines Erachtens nie geben. Denn der Krebs ist keine Schwangerschaft mit einem einzigen vorausgehenden Ereignis. Krebs ist multifaktoriell. Und wenn ich sage, dass es vielleicht fünfhundert oder tausend Ereignisse gibt, die eine normale Zelle zur Krebszelle machen und für deren Ausbreitung im Organismus sorgen, dann hat man eine ungefähre Vorstellung, wie kompliziert die Sache ist – und auf komplexe Fragen darf man bekanntlich keine einfachen Antworten erwarten.

Die Fragen stellte
Claudia Eberhard-Metzger.



PROF. GERHARD SCHALLER, MARIENHOSPITAL HERNE / RUHR UNIVERSITÄT BOCHUM

Bei manchen Brustkrebspatientinnen ist das Gen für einen bestimmten Wachstumsrezeptor in den Krebszellen vervielfältigt (links oben, rot markiert). Im rechten Bild von gesunden Zellen erscheint dieses Gen nicht häufiger als ein grün markiertes Kontrollgen. Die bösartigen Zellen bilden den Rezeptor im Übermaß (links unten, braun), nicht aber gesunde Zellen (rechts unten).

zeptor wird von den entarteten Zellen des Non-Hodgkin-Lymphoms, einem häufigen Blutkrebs, übermäßig ausgebildet. Der Antikörper bindet an das CD20-Antigen. Daraufhin wird die bösartige Zelle von den körpereigenen Abwehrmechanismen eliminiert. Gemeinsam mit der Standard-Chemotherapie angewendet, kann der Antikörper die Lebenserwartung von Patienten verbessern, die an einem aggressiven Non-Hodgkin-Lymphom leiden.

Auch Alemtuzumab, der neueste eingesetzte Antikörper, wird bei einer Blutkrebsart eingesetzt, und zwar bei der chronisch-lymphatischen Leukämie der B-Zellen, einer Fraktion der weißen Blutkörperchen. Der Antikörper bindet an das Protein CD52+ auf der Oberfläche entarteter B-Zellen und initiiert deren Zerstörung durch die körpereigene Immunabwehr. Der Antikörper ist jetzt für Patienten zugelassen, bei denen die Standard-Chemotherapie nicht mehr wirkt.

Neben der Blockade von Wachstumsfaktoren und dem Verhindern molekularer Falschmeldungen gibt es noch zahlreiche weitere Ansatzpunkte, die Krebsforscher weltweit untersuchen, um neue Zielstrukturen (Targets) für wirksame Medikamente zu finden. Von den vielen neuen Ansätzen werden derzeit vor allem zwei als besonders viel versprechend diskutiert: die Hemmung der Matrix-Metalloproteinasen (MMPs) und das Aushungern von Tumoren mit Angiogenese-Hemmern.

Matrix-Metalloproteinasen zählen zu einer Enzymfamilie mit mehr als zwanzig Mitgliedern. Sie alle sind dazu befähigt, Bestandteile der extrazellulären Matrix abzubauen. Diese hoch entwickelte Matrix füllt die Räume zwischen den Zellen aus und gibt ihnen Halt. Sie besteht vorwiegend aus Glykoproteinen, die von der Zelle abgesondert werden.

Für die Krebsforscher sind Metalloproteinasen interessant, weil entartete Zellen sie verstärkt produzieren und zu einem bösartigen Zweck missbrauchen: Die Enzyme helfen der malignen Zelle, ihren angestammten Platz zu verlassen, in das Blutgefäßsystem vorzudringen und sich in gesunden Organen niederzulassen, um sich dort weiter zu vermehren. Auf ihrer Wanderschaft durch den Körper – bei der Metastasierung – bahnen die Metalloproteinasen den Krebszellen gleichsam unfreiwillig den Weg.

Die Krebsforscher überlegen, wie sie diese Enzyme hemmen können, um so zu verhindern, dass sich gefährliche Tochtergeschwülste absiedeln. Erste entdeckte Hemmstoffe testen sie mittlerweile in klinischen Studien. Einer dieser Matrix-Proteinase-Hemmer (von der Firma Bristol-Myers Squibb) wird bereits in einer Phase II/III-Studie an Patienten geprüft.

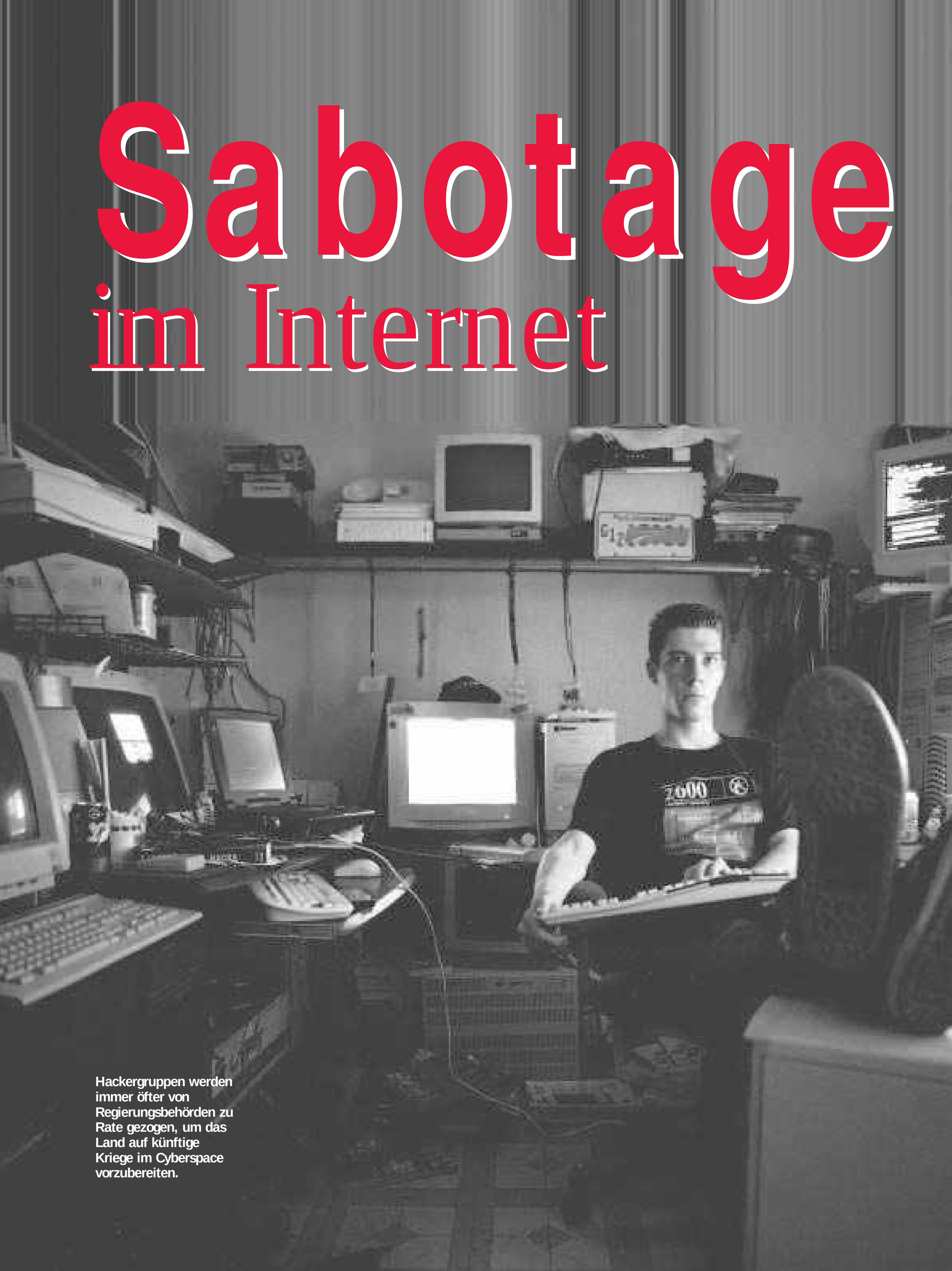
In einem ähnlich ambitionierten Projekt soll das Wachstum von Tumoren dadurch gestoppt werden, dass keine neuen Blutgefäße mehr wachsen können, um die Geschwulst mit Sauerstoff und Nährstoffen zu versorgen. Hemmstoffe sollen diese so genannte Angiogenese verhindern. Die Geschwulst würde dann schlichtweg ausgehungert. Der entscheidende Vorteil einer Anti-Angiogenese: Sie dürfte bei allen soliden Tumoren, ob Brust-, Darm- oder Lungenkrebs, wirken. Denn alle sind zum Wachstum auf die Zufuhr von Blut angewiesen.

Die Krebsforscher und Arzneimittelentwickler hoffen dabei vor allem auf Substanzen, die ein überaktives Molekül mit dem Kürzel VEGF (*vascular endothelial growth factor*) hemmen. Es fördert das Aussprossen neuer Blutgefäße. Einige Wissenschaftler versuchen beispielsweise, das Molekül mit monoklonalen Antikörpern abzufangen. Andere arbeiten daran, die Tyrosinkinase des VEGF-Rezeptors mit niedermolekularen Wirkstoffen auszuschalten. Der Gedanke einer Anti-Angiogenese ist bestechend – noch hat allerdings keiner der Entwicklungskandidaten den entscheidenden Sprung in fortgeschrittene klinische Studien geschafft.

„Ob Signaltransduktion, Wachstumsrezeptoren oder Angiogenese – alle diese neuen Konzepte sind unglaublich spannend und von großer methodischer Eleganz", urteilt Professor Rolf Kreienberg. Ob aus ihnen tatsächlich Medikamente werden, die Krebspatienten dauerhaft helfen oder sie gar von ihrem Leiden befreien können, muss bis auf weiteres offen bleiben. „Die Saat ist ausgebracht", meint Kreienberg. „Und ich habe den Eindruck, dass wirklich gut ausgesät wurde." ■

Claudia Eberhard-Metzger ist Wissenschaftsautorin mit Schwerpunkt Biomedizin. Sie arbeitet unter anderem für das Deutsche Krebsforschungszentrum und das Tumorzentrum Heidelberg-Mannheim. Ihr jüngstes Buch „Was ist was: Gene" erschien im Tessloff-Verlag.





Sabotage im Internet

Hackergruppen werden immer öfter von Regierungsbehörden zu Rate gezogen, um das Land auf künftige Kriege im Cyberspace vorzubereiten.



ETHAN HILL

Könnte das Internet zusammenbrechen? Die Attacke des Web-Wurms „Code Red“ im vergangenen Sommer gab einen Vorgeschmack auf Cyberspace-Kriege zwischen Hackergruppen oder ganzen Staaten.

Von Carolyn Meinel

Stellen Sie sich eine tödliche Erkältung vor, die sich durch Tröpfchen in der Luft rasend schnell ausbreitet. Sie fühlen sich vollkommen gesund – bis zum ersten Niesanfall. Der einzige Schutz wäre vollkommene Isolation, aber die ist unmöglich.“

Jane Jorgensen beschreibt nicht die letzte Grippewelle, sondern eine Krankheit, die das World Wide Web heimsucht. Jorgensen ist leitende Wissenschaftlerin bei der Firma Information Extraction & Transport in Arlington (Virginia), zuständig für Internet-Epidemiologie im Auftrag der Defense Advanced Research Projects Agency, einer Forschungseinrichtung des US-Militärs. Eine solche Web-Krankheit trat im Juli 2001 auf und löste höchste Besorgnis über die Widerstandsfähigkeit des Internets aus. Anlass war der Web-Wurm „Code Red“, der die Internet Information Server (IIS) von Microsoft infiziert. Die meisten Heimcomputer arbeiten mit anderen Systemen, doch zahlreiche Webseiten laufen auf IIS. In zwei Blitzangriffen infiltrierte Code Red hunderttausende IIS innerhalb weniger Stunden und verlangsamte das Internet spürbar. Obwohl sich die Wirkung bald abschwächte, kostete das Stopfen von Sicherheitslücken in den weltweit auf 6 Millionen geschätzten Microsoft-Servern sowie die Reparatur des angerichteten Schadens mehrere Milliarden Dollar.

Doch am beunruhigendsten ist die Vorstellung, dass Code Red nur ein Vorläufer noch aggressiverer Internet-Seuchen sein könnte. Früher brachen Einzelpersonen in einzelne Webseiten ein; das entspricht im Cyberspace-Krieg dem Abwerfen von Propagandaflugblättern über einem feindlichen Ziel. Jetzt befürchten die Experten, raffiniert konstruierte Würmer könnten das gesamte World Wide Web lähmen oder gar komplett zerstören.

Einige Forscher vermuten sogar, Code Red sei lediglich ein Test für Computerprogramme gewesen, mit denen ein Staat in Kriegszeiten das Internet lahm legen könnte. Ein totaler Cyberspace-Krieg könnte in den Industrieländern ungeahnte Schäden anrichten (siehe Kasten auf Seite 59). Für solche geheimen Attacken werden private Computer als „Zombies“ rekrutiert und zur Teilnahme an der nächsten Angriffswelle gezwungen. Wenn man einmal vom Umfang der Computerattacken absieht, sind individuelles Hackertum und staatlicher Cyberkrieg nur die zwei Seiten einer Medaille. Den Unterschied erkennt man oft erst, wenn es zu spät ist.

Code Red und einige andere Cyberschädlinge wie Melissa und SirCam sind genau genommen keine Computerviren, sondern so genannte Würmer. Wie ihre biologischen Namensvettern müssen sich Software-Viren in andere Programme einnisten, um zu gedeihen und sich zu vermehren. Hingegen ist ein Computerwurm ein eigenständiges, selbstreplizierendes Programm, oft viel ansteckender als ein Virus. Der Code-Red-Wurm ist besonders gefährlich, weil seine Angriffe durch „Distributed Denial of Service“ (DDoS, etwa: gestreute Dienstverweigerung) das Internet mit einer Flut von Datenmüll überschwemmen.

Die Bandbreite als Waffe

Im Juli 2001 bedrohte Code Red das Internet, indem er dessen gesamte Datenübertragungskapazität – Bandbreite genannt – beanspruchte. „Im Cyberkrieg wird die Bandbreite zur Waffe“, sagt Greggory Peck, leitender Sicherheitsingenieur bei FC Business Systems in Springfield (Virginia); die Firma sucht im Auftrag der US-Regierung die Computerkriminalität zu bekämpfen. Bei einem DDoS-Angriff befiehlt ein Computer zahlreichen Zombies, ein Opfer mit Datenmüll zu überschütten, um die gesamte verfügbare Bandbreite aufzubrauchen. Ein derartiger Angriff machte im Jahr 2000 Schlagzeilen, als DDoS-Attacken unter anderem die Internet-Firmen Yahoo und eBay lahm legten.

Die ersten DDoS-Einbrüche bedienten sich nur hunderter oder höchstens tausender Zombies, denn die Angreifer mussten manuell in jeden künftigen Zombie eindringen. Ein Wurm wie Code ▶

Red vermehrt sich hingegen automatisch – und exponentiell. Das verschafft ihm hundertmal mehr Zombies und somit hundertmal mehr Rechenleistung, um rasend schnell die verfügbare Internet-Bandbreite auszuschöpfen.

Der erste Ausbruch von Code Red war kaum mehr als ein Schnupfen. Fünf Tage nach seinem ersten Auftreten am 12. Juli befiel er nur 20 000 der rund 500 000 für ihn anfälligen Internet-Server. Erst fünf Tage später entdeckten Ryan Permeh und Marc Maiffret von eEye Digital Security in Aliso Viejo (Kalifornien), einem Hersteller von Sicherheitssoftware für Microsoft-Server, den Wurm und schlugen Alarm.

Am 19. Juli erschien der Wurm erneut in noch giftigerer Form. „In weniger als 14 Stunden infizierte Code Red über 359 000 Server", sagt David Moore von der Cooperative Association for Internet Data Analysis in La Jolla (Kalifornien), einer öffentlich und privat finanzierten Organisation zur Internetserver-Überwachung. Der Datenstau, der entstand, als unzählige Computer versuchten, andere Computer zu rekrutieren, begann das Internet zu überlasten. Am Nachmittag gab das Internet Storm Center bei incidents.org, das im Auftrag der Computersicherheitsindustrie den Zustand des Internets überwacht, Alarmstufe „orange". Die nächste Stufe, roter Alarm, signalisiert bereits totalen Zusammenbruch.

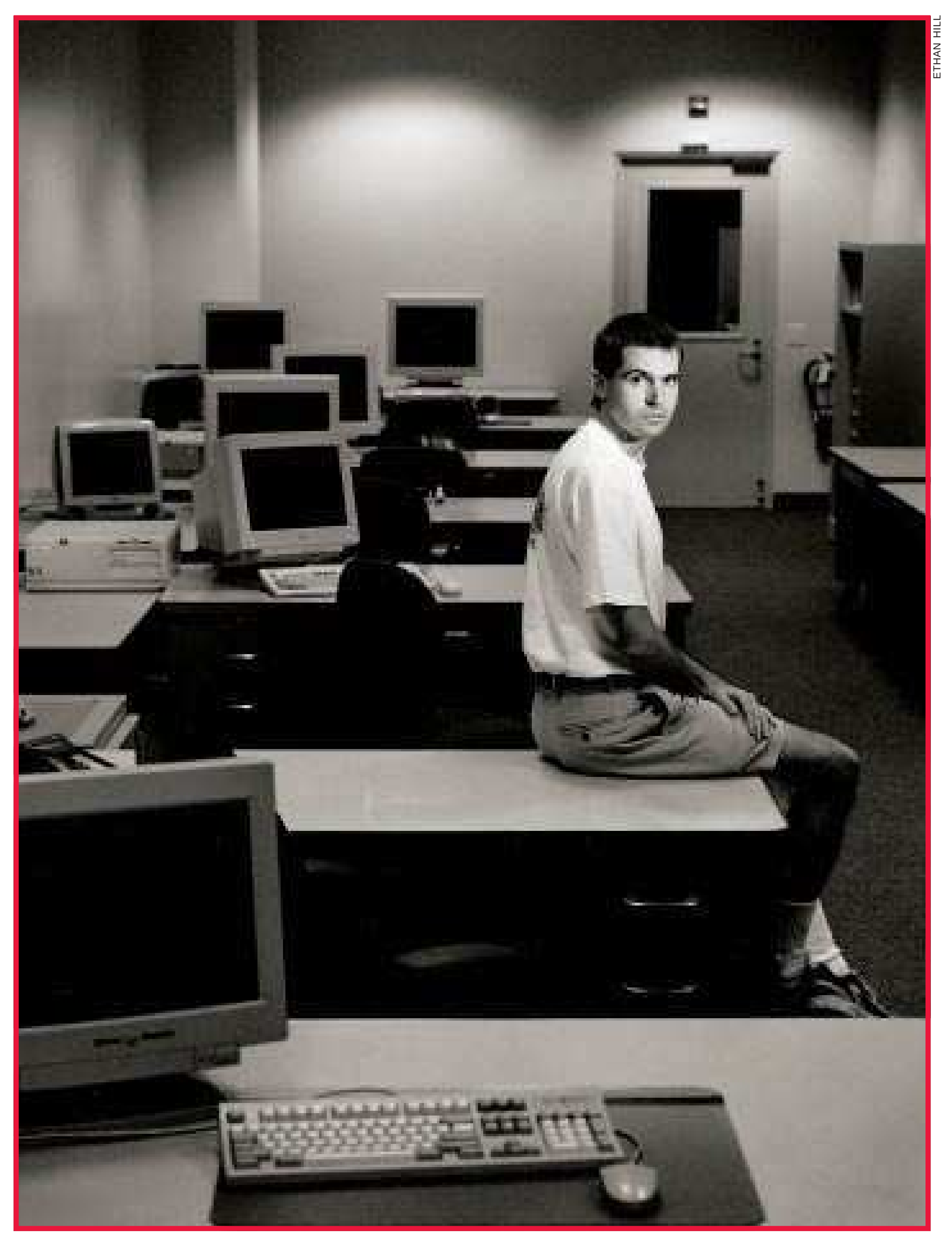
Um Mitternacht stellten alle Code-Red-Zombies die Suche nach neuen Opfern ein. Stattdessen stürzten sie sich auf einen der Server, auf dem die Webseite des Weißen Hauses liegt. „Das Weiße Haus schaltete einen seiner beiden DNS (Domain Name Server) ab und verwies jeden Aufruf von whitehouse.gov an den anderen Server", erzählt Jimmy Kuo von der Antivirus-Firma Network Associates McAfee, der dem Weißen Haus zu Hilfe kam. Im Grunde ignorierten die Systemadministratoren einfach sämtliche Anfragen an den angegriffenen Server. Wie sich zeigte, war Code Red auf die Änderung der Internet-Adresse nicht vorbereitet und setzte seine Angriffe auf den inaktiven Server fort. „Die Öffentlichkeit merkte gar nichts, weil alle Aufrufe an den anderen Server gingen", sagt Kuo.

Am Abend des 20. Juli fielen alle Code-Red-Zombies in vorprogrammierten Dauerschlaf. Da Würmer nur im RAM (Random Access Memory, Arbeitsspeicher) des Computers nisten und da dieses Kurzzeitgedächtnis bei jedem Abschalten gelöscht wird, genügte ein Neustart, um alle Überreste zu entfernen. So weit, so gut.

Wirklich? Ein paar Tage später fand man bei eEye heraus, dass die Infektion von neuem ausbrechen würde, falls irgendwann zwischen dem 1. und 19. eines beliebigen Monats – den vom ursprünglichen Hacker codierten Ausbruchsdaten – eine neue Kopie von Code Red freigesetzt würde.

In den nächsten Tagen informierten freiwillige Helfer die Nutzer von IIS-Computern über die Verletzlichkeit ihrer Server. Am 29. Juli hielt das Weiße Haus eine Pressekonferenz ab und forderte alle IIS-Betreiber eindringlich auf, ihre Server gegen Code-Red-Angriffe zu schützen. „Der massenhafte Datenverkehr, der mit der Verbreitung des Wurms einhergeht, könnte das Internet beeinträchtigen", warnte Ronald L. Dick vom National Infrastructure Protection Center des FBI. Am nächsten Morgen machte Code Red überall Schlagzeilen.

Der zweite Code-Red-Angriff fiel wie erwartet schwächer aus. Am 1. August infizierte der Wurm etwa 175 000 Server – fast alle, die noch immer anfällig waren, aber nur etwa halb so viele



ETHAN HILL

Der Internet-Experte David Moore analysierte die rapide Ausbreitung von Code Red.

Was geschieht, wenn das Internet zusammenbricht?

Viele Unternehmen nutzen das World Wide Web, um Montageteile zu bestellen oder Auslieferungen zu arrangieren. Der Kollaps des Systems würde die Just-in-time-Produktion unterbrechen, bei der die Komponenten eines Artikels erst ein bis zwei Tage vor Verwendung angeliefert werden, um Lagerkosten zu sparen. Viele Geschäfte benutzen das Internet, um ihre Regale zu füllen. Binnen Tagen wären diese leer.

Auch könnten Sie vielleicht Ihre Scheckkarte nicht mehr benutzen, da viele Banken sich auf das billige Internet verlassen statt auf eigene Standleitungen. Die Wall Street und andere Börsen sind vermutlich durch Hacker, welche die Transaktionen unauffällig manipulieren, mehr gefährdet als durch einen Systemzusammenbruch, der einfach mit der Schließung des Marktes beantwortet würde.

Heute würden bei einem Web-Crash zwar die meisten Telefone weiter funktionieren, aber das könnte sich schon bald ändern. Das Telefonieren per Internet begann als Spielerei für kostenlose Ferngespräche. Doch heute laufen schon viele normale Anrufe teilweise über das World Wide Web. Auch der nicht-geheime Nachrichtenverkehr der US-Streitkräfte benutzt unterdessen das öffentliche Internet und ist entsprechend anfällig.

Manche fragen sich, ob bei einem großen Zusammenbruch des World Wide Web Flugzeuge abstürzen würden. Die US-Luftfahrtbehörde beschwichtigt: Ihre Kontrollsysteme seien zu antiquiert, um vom Internet abzuhängen.

---

wie beim ersten Mal. Das langsamere Infektionstempo und die geringere Anzahl anfälliger Server hielten die Störungen des Internets in Grenzen. Nach kurzer Zeit klang die zweite Infektion ab.

Doch damit war noch nicht alles vorbei. Am 4. August tauchte ein neuer Wurm mit dem gleichen Infektionsmechanismus wie Code Red auf. Dieser Übeltäter namens Code Red II installierte eine Hintertür, durch die ein Meisterhacker infizierte Computer nach Belieben zu steuern vermochte. Der Wurm überschwemmte Intranets – lokale Netzwerke – mit Ethernetpaketen und jagte nach neuen Opfern.

In kurzer Folge legte Code Red II den E-Mail-Dienst Hotmail, mehrere Internet-Anbieter sowie die Nachrichtenagentur Associated Press teilweise lahm. Mit der Zeit infizierte Code Red II die Intranets zahlreicher Unternehmen und Bildungseinrichtungen. Die häufigsten Opfer waren private Webserver, die mit dem Betriebssystem Windows 2000 Professional liefen. Diese Flut von Störungen veranlasste incidents.org, erneut Alarmstufe „orange“ auszurufen. Nach Expertenschätzungen waren 500000 interne Server betroffen.

Bis das Internet vollständig von diesem Computerangriff gereinigt sein wird, wird er wohl als der teuerste in die Geschichte eingehen. Zum Vergleich: Im Jahr 2000 kostete die Bekämpfung des LoveLetter-Virus fast 9 Milliarden Dollar, und 1999 kam die Reparatur des Schadens durch den Melissa-Wurm auf eine Milliarde Dollar.

Natürlich ist Code Red nicht der einzige Wurm auf der Lauer. Einige sind speziell gegen Heimcomputer gerichtet. Ein Wurm mit Namen W32/Leaves erlaubt es einem fernen Angreifer, die befallenen Computer simultan fernzusteuern. Zu synchronen Attacken ist zwar auch Code Red II im Stande, aber nicht zur Fernsteuerung. Das Computer Emergency Response Team, eine von der Regierung finanzierte Wächterorganisation an der Carnegie Mellon University, zählte mehr als 23000 Zombies vom Typ W32/Leaves. Die derzeitige Gesamtzahl ist unbekannt, doch da der Wurm sich weiter ausbreitet, wird sie wohl noch erheblich ansteigen. Im Juli verhaftete Scotland Yard einen 24-jährigen Mann unter dem Verdacht, W32/Leaves freigesetzt zu haben.

„Fast jeder Computer, jedes Betriebssystem und jede Software im Handel hat Schwachstellen, die den Herstellern bekannt sind und die von Hackern ausgebeutet werden können“, behauptet Larry Leibrock von der Universität von Texas in Austin, ein führender Kenner der Computerkriminalität. In Zukunft könnten „Bundesgesetze verlangen, dass die Verkäufer von sich aus ihre Kunden warnen und ihnen helfen, die Sicherheitslücken ihrer Produkte zu schließen“, fügt er hinzu. „Heute muss jeder Konsument noch selbst die unzähligen Tricks herausfinden und bekämpfen, mit denen Hacker und Cyberkrieger seinen Computer missbrauchen können.“

Schlimmer als die Bedrohung durch bösartige Hackerprogramme ist jedoch die Gefahr von gezielten Internet-Attacken, ausgeführt von politisch motivierten Spitzenexperten. Die Cyberspace-Schlacht, die im April 2001 durch die Kollision eines chinesischen Jagdflugzeugs mit einem EP-3E-Spionageflugzeug der US-Navy ausgelöst wurde, gibt einen Vorgeschmack.

Presseberichten zufolge begann das Hacker-Hickhack, als die Verhandlungen über die Freilassung der amerikanischen Geiseln ins Stocken gerieten. Am 9. und 10. April entstellten Hacker zwei chinesische Webseiten mit Schmierereien und Beleidigungen; sie drohten sogar mit dem Einsatz von Nuklearwaffen. In der folgenden Woche brachen amerikanische Hacker in Dutzende chinesischer Webseiten ein.

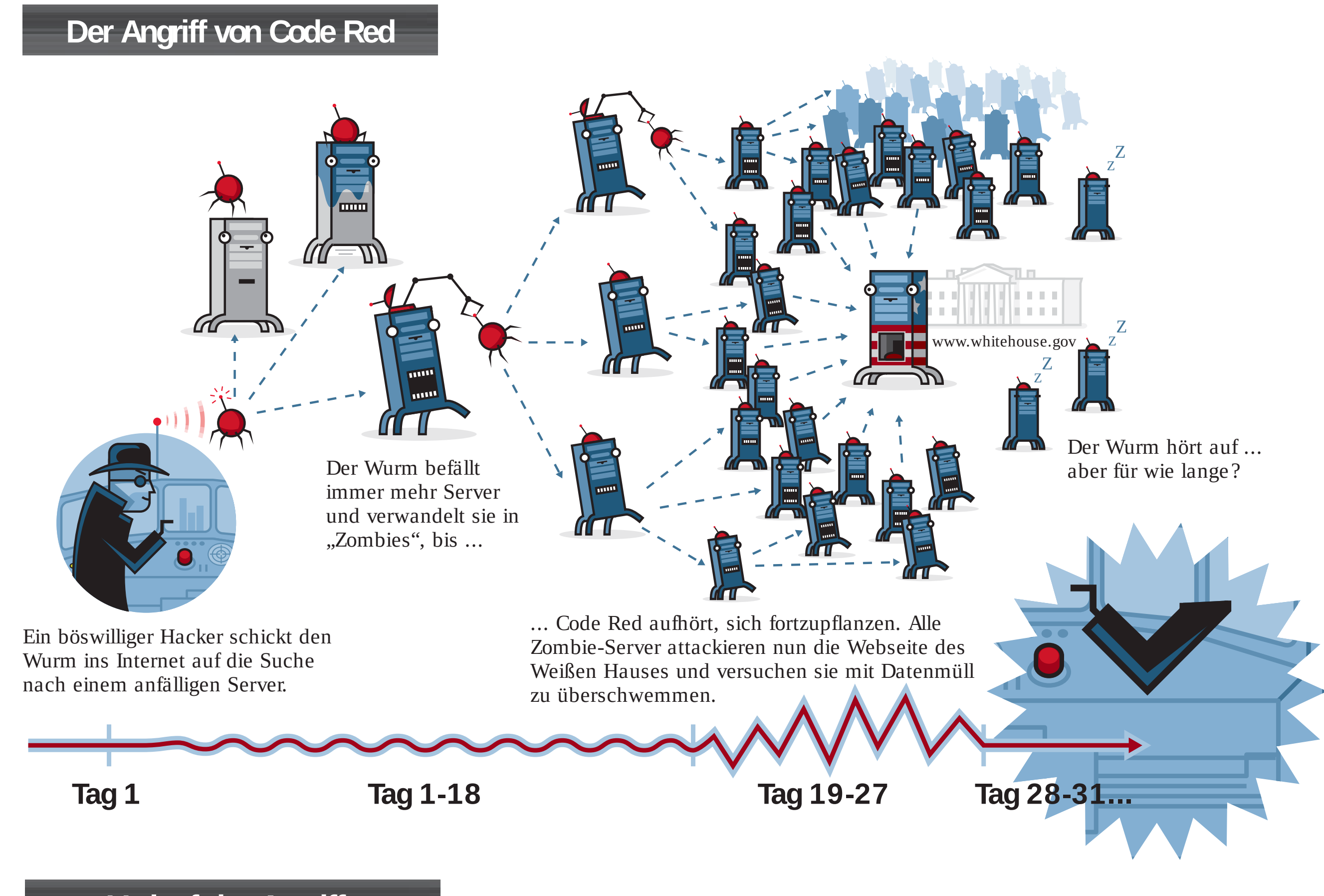


Wie Zombies das Weiße Haus überschwemmten

Der Internet-Wurm „Code Red“

Code Red infiziert die ungeschützten Internet Information Server (IIS) von Microsoft, auf denen viele häufig genutzte Webseiten laufen. Im Sommer 2001 verwandelten die heimtückischen Angriffe des Wurms zahlreiche IIS-Computer in „Zombies“, die anschließend die Webseite des Weißen Hauses attackierten und mit Datenmüll überschwemmten. Noch wirksamere Würmer könnten die Übertragungskapazität des gesamten Internets erschöpfen und es auf diese Weise komplett lahm legen.

Der Angriff von Code Red



Verlauf des Angriffs

Gesamtzahl der befallenen Internet-Adressen: 0 – 50 000 – 100 000 – 150 000 – 200 000 – 250 000 – 300 000

Ortszeit: 6 Uhr – 12 Uhr – 18 Uhr

Am 19. Juli 2001 stieg die Anzahl der von Code Red infizierten Internet-Adressen binnen 12 Stunden von 16 000 auf 280 000. Nach der ersten Infektionswelle stellte sich Code Red schlafend. Doch bald darauf ereignete sich erneut ein kleinerer Ausbruch. Die Angriffe des Wurms und der nachfolgende Ausbruch von Code Red II haben vermutlich Schäden von mehreren Milliarden Dollar angerichtet.

Chinesische Sympathisanten antworteten mit dem Verunstalten einer obskuren US-Navy-Webseite. Doch China hatte noch eine Waffe in Reserve. Ende März hatte das National Infrastructure Protection Center vor einem neuen Wurm namens 1i0n gewarnt; zur Urheberschaft bekannte sich Lion, Gründer der Hackergruppe H.U.C. (Honkers Union of China). Im Gegensatz zu den von Code Red vorprogrammierten Zombies akzeptieren die 1i0n-Zombies neue Befehle von einem zentralen Computer. Außerdem infiziert 1i0n Linux-Computer; das heißt, er vermag jeden Computer im Web zu imitieren. Darum sind infizierte Server kaum aufzuspüren.

Währenddessen eskalierten die proamerikanischen Hackerangriffe. Die chinesische Parteizeitung berichtete, bis Ende April seien mehr als 600 chinesische Webseiten attackiert worden. In dieser Zeit drangen chinesische Hacker lediglich in drei US-Seiten ein.

In den folgenden Tagen beschmierten die chinesischen Hackergruppen H.U.C., Redcrack, China Net Force, China Tianyu und Redhackers ein Dutzend amerikanischer Webseiten mit Slogans wie „Nieder mit anti-chinesischer Arroganz!“ Am 1. Mai folgten mehrere DDoS-Attacken, und in der nächsten Woche zerstörten chinesische Hacker rund tausend Webseiten in den USA.

Am 7. Mai bekannte sich China zu den DDoS-Attacken und forderte in einem offiziellen Zeitungsartikel zum Waffenstillstand auf. Darin hieß es: „Die chinesischen Hacker wurden ebenfalls aufgefordert, alle irrationalen Aktionen zu unterlassen und ihren Enthusiasmus in Energie zum Aufbau des Landes und zur Sicherung des Weltfriedens umzusetzen.“ Die Exekutivorgane der USA, das Weiße Haus und US-Hacker schritten nie gegen die heimischen Aktivitäten in diesem Konflikt ein; immerhin warnte das Infrastructure Center des FBI vor der „Möglichkeit zunehmender Hackerangriffe gegen US-Systeme“.

Angesichts der Spionageflugzeugaffäre haben sich einige Kommentatoren gefragt, ob die US-Regierung amerikanische Hacker zum Cyberkrieg ermuntert habe. Bekanntlich führten die Vereinigten Staaten schon öfters mit Hilfe privater Organisationen verdeckte Operationen durch. Allerdings lässt sich schwer sagen, wie eng die Verbindung zwischen Hackern und Regierung wirklich ist. Immerhin gibt es zumindest gewisse Indizien dafür.

Nehmen wir als Beispiel Fred Villella, heute unabhängiger Computerberater. Nach vielen Presseberichten und eigenen Angaben nahm Villella in den siebziger Jahren an Antiterror-Aktivitäten teil. 1996 bezahlte er mehrere Hacker der Dis Org Crew dafür, mit ihm zusammen Kurse für Bundesbehörden über deren Bedrohung durch Hacker durchzuführen. Diese Gruppe organisiert unter anderem Def Con, die größte Hacker-Jahreskonferenz der Welt.

Eric Ginorio – in der Hackerszene als Bronc Buster bekannt – brüstete sich öffentlich, im Oktober 1998 eine chinesische Webseite über Menschenrechte entstellt zu haben; diese Tat ist nach amerikanischem Recht illegal. Ginorio wurde dafür keineswegs angeklagt; er sagt sogar, Villella habe ihm einen Job geboten.

Das Techtelmechtel zwischen Hackern und Regierung

Eine weitere Liaison zwischen Regierung und Hackern kam im Jahre 1996 zu Stande, als Secure Computing in San José (Kalifornien) ein Sponsor von Def Con wurde. Nach eigenen Angaben wurde Secure Computing auf Anordnung der National Security Agency ins Leben gerufen, des geheimsten aller codeknackenden und abhörenden Geheimdienste. Zwei Jahre später stellte Secure Computing Jeff Moss an, den Eigentümer von Def Con. Auch mehrere vormals für Villella tätige Ausbilder wurden für Def Con tätig.

Auf Def-Con-Kongressen gehen merkwürdige Dinge vor. Zum Beispiel stellte auf der Def Con 1999 die in Lubbock (Texas) ansässige Hackergang „Cult of the Dead Cow“ in einem Medienspektakel ihr Computereinbruchprogramm „Back Orifice 2000“ vor. Gangmitglieder priesen die Vorzüge von „weltveränderndem Hacken“ und behaupteten, schon Achtjährige könnten mit diesem Programm in Windows-Server einbrechen.

Unterdessen warb Pieter Zatko, ein in der Nähe von Boston ansässiger Hacker-Unternehmer und Mitglied der Gang, auf der Bühne für ein Update, das Back Orifice 2000 noch wirksamer machen soll. Auf der Gang-Webseite hieß es, das Programm sei innerhalb der nächsten ein oder zwei Wochen 128 776 mal heruntergeladen worden. Am 15. Februar 2000 lud Präsident Clinton Zatko zu einer Sitzung über Internet-Sicherheit ▶

Wie lässt sich das Internet schützen?

Wenn Sie glauben, Sie seien immun gegen Wurm-Angriffe, weil Sie sich stets die aktuellste Antivirus-Software beschaffen, so irren Sie. Nur wenige Hersteller fühlen sich verpflichtet, den Nutzer bei der Abwehr von Hackerangriffen zu unterstützen, die seinen Computer in einen „Zombie“ verwandelt. Deshalb ist es wichtig, in Heimcomputern so genannte Firewalls zu installieren.

Hinzu kommt, dass die meisten neuen Personal Computer demnächst mit dem Windows-XP-Betriebssystem laufen werden, das „Raw Sockets“ (etwa: Rohfassungen) ermöglicht. Sockets sind Programme zum Erzeugen der minimalen Datenpakete für die Netzwerkkommunikation. Mit Raw Sockets lassen sich willkürlich Pakete fabrizieren, selbst wenn dabei Sicherheitsprotokolle verletzt werden. Raw Sockets ermöglichen zum Beispiel dem Wurm 1i0n, Internet-Adressen zu fälschen und sich auf Linux-Servern zu verstecken. Außerdem können Hacker auf diese Weise bewusst fehlerhafte Pakete schnüren, bei deren Empfang der Server abstürzt.

Die internationale Strafverfolgung von Computerkriminellen würde durch die Ratifizierung der „Convention on Cybercrime“ erleichtert, die derzeit von 41 europäischen Staaten sowie Kanada, Japan und den USA beraten wird. Unter anderem wären dann auch Besitz und Herstellung von Anleitungen und Software zur Begehung von Computerkriminalität strafbar, sofern diese nicht ausdrücklich für den Test sowie den Schutz eines Computersystems genehmigt wurden. Der Vertragstext dazu ist zu finden unter conventions.coe.int/Treaty/EN/projets/FinalCybercrime.htm.

Diese Auflagen sind freilich umstritten. Mindestens 35 Interessengruppen wie „Electronic Frontier Foundation“ oder „Global Internet Liberty Campaign“ lehnen den Vertrag ab, da er ihrer Meinung nach das Recht auf Redefreiheit und Privatsphäre einschränkt. Doch es ist schwer, Gegenmittel gegen Viren und Würmer zu finden, wenn sie nicht kopiert und systematisch erforscht werden können.

Ein weiterer Punkt ist die Forderung nach sicheren Webservern. Die USA schlugen im Juli 2001 ein Gesetz vor, das finanzielle Dienstleister verpflichtet, ihre Netzwerke gegen „abzusehende Bedrohungen“ zu schützen – gewiss nur ein kleiner Schritt in die richtige Richtung.

DPA

Nach dem Terroranschlag vom 11. September

Nimda-Wurm und Cyber-Vergeltung

Während ein neuer, besonders tückischer Wurm das Internet infizierte, drangen amerikanische Hackergruppen als Cyber-Guerilla in nahöstliche Webseiten ein.

Als Vergeltung für die Terrorangriffe gegen die Vereinigten Staaten vom 11. September 2001 attackierte eine Gruppe von Hackern 200 bis 300 Webseiten nahöstlicher Regierungen und palästinensischer Internet-Anbieter. Nach eigenen Worten plant die Gruppe, in Afghanistan, wo das herrschende Taliban-Regime der Bevölkerung ohnehin den Zugang zum Internet untersagt hat, Webserver zu zerstören und jeden Internetzugriff zu unterbinden.

Unter den ersten mit Karikaturen von Osama bin Laden verunstalteten Webseiten waren die des iranischen Innenministeriums; die offizielle Webseite des Präsidentenpalastes von Afghanistan und eine Seite der regierenden Taliban-Partei wurden bereits zerstört.

Das National Infrastructure Protection Center des FBI äußerte dazu, dass „Individuen, die glauben, damit ihrem Land einen Dienst zu erweisen, tatsächlich das Gegenteil erreichen". Außerdem seien diese Aktivitäten nach US-Recht Straftaten, die mit Haft bis zu fünf Jahren geahndet werden könnten.

Offenbar überlegen die US-Behörden ihrerseits, wie man dem mutmaßlichen Chefterroristen Osama bin Laden mittels Cyberattacken den Geldhahn abdrehen könnte. Dabei darf die US-Regierung kaum mit der Unterstützung der vielen Banken, Unternehmen und Schattenorganisationen rechnen, in denen bin Laden sein mutmaßliches Millionenvermögen versteckt hält.

Das Hacken in die Computersysteme ausländischer Banken wirft eine Reihe von technischen und rechtlichen Problemen auf. Mark Rasch, früherer Leiter einer Abteilung für Computerkriminalität beim US-Justizministerium, betont: „Für Fahndung, Spionage und Kriegsführung gelten unterschiedliche Regeln. Gegenwärtig führen wir eine Fahndung durch. Sollen wir das Geld einfach transferieren? Das hat keinen Sinn. Es wäre illegal, und bin Laden würde die Bank einfach auffordern, das Geld zu ersetzen. Was wir wirklich brauchen, ist die Fähigkeit, Vermögen zu identifizieren, um sie dann rechtsgültig sperren oder beschlagnahmen zu lassen."

Eric Friedberg, jetzt Sicherheitsberater und früher Koordinator für Computerkriminalität im US-Justizministerium, ergänzt: „In Kriegszeiten ist es legal, in feindliche Server zu hacken. Doch diesmal wird der Feind schwer zu identifizieren sein. Beweismittel und Guthaben könnten sich in den Händen scheinbar unbeteiligter Dritter befinden. Sobald neutrale Parteien betroffen sind, wird die Legalität gewaltsamer elektronischer Eingriffe fraglich."

Der Nimda-Wurm

Am 18. September 2001 gegen 10:00 Uhr New Yorker Zeit trafen im Internet-Sturmzentrum von incidents.org erste Meldungen über einen neuen Wurm ein. Der Parasit, der sich mit bisher nicht da gewesener Geschwindigkeit im Web ausbreitete und unter dem Namen „W32/Nimda" („Admin" rückwärts geschrieben) bekannt wurde, verdankt seine Virulenz vier verschiedenen Ausbreitungsvektoren: Server, E-Mail, Web-Browser und gemeinsam genutzten Dateien (File-Shares). Zunächst forscht der Wurm im Internet nach IIS-Computern und versucht, durch Schwachpunkte – etwa von früheren Infektionen zurückgelassene Hintertüren – in sie einzudringen. Sobald er Kontrolle über den Server hat, kopiert er sich von dem angreifenden Computer unter dem Namen Admin.dll dorthin.
Hat sich Nimda erfolgreich auf dem Server eingenistet, liest er das Windows-Adressbuch und die E-Mails von Nutzern und sendet sich selbst an alle verfügbaren Adressen als Anlage mit dem Namen „readme.exe". Dabei codiert er sich selbst derart, dass ihn Microsoft Outlook und Outlook Express beim Öffnen der E-Mail automatisch starten.

Hat der Wurm einen Web-Server infiziert, so befällt er Computer, die auf diesem Server Webseiten öffnen. Zu Beginn der Infektion erzeugt er eine Kopie von sich selbst mit dem Namen „readme.eml" und sucht dann im gesamten Verzeichnis des Netzwerks nach webbezogenen Dateien. Findet er diese, so hängt er ein Stückchen Code an, das den surfenden Computer zwingt, readme.eml herunterzuladen. Einige Versionen des Internet Explorers von Microsoft starten das Programm readme.eml automatisch; doch diese Schwachstelle kann durch ein Außerbetriebsetzen der JavaScript-Option des Web-Browsers behoben werden.

Schließlich kopiert sich Nimda als readme.eml in alle Netzwerkverzeichnisse, in denen der Nutzer Schreibrechte hat. Teilen sich mehrere Nutzer von verschiedenen Computern ein solches Verzeichnis, so werden auch diese infiziert, sobald darauf zugegriffen wird. Außerdem macht der Wurm den Nutzernamen „Guest", der auf Windows-Systemen kein Passwort benötigt, zum Mitglied der „Administrators"-Nutzergruppe.

Bei seiner Suche nach neuen Opfern startet der Wurm auf seinem Wirtscomputer mehrere parallele Prozesse, was diesen lahm legen kann. Er nistet sich außerdem in eine Reihe von Programmen ein, sodass die Infektion bei deren Starten von neuem beginnt. Er kann sich sogar so in Textdokumente einbinden, dass der Wurmcode beim Starten des Textprozessors abgearbeitet wird. Durch all dies ist Nimda extrem schwer zu finden und zu beseitigen. Nutzern wird daher empfohlen, ihre Computer durch komplettes Neuinstallieren des Betriebssystems zu reinigen.

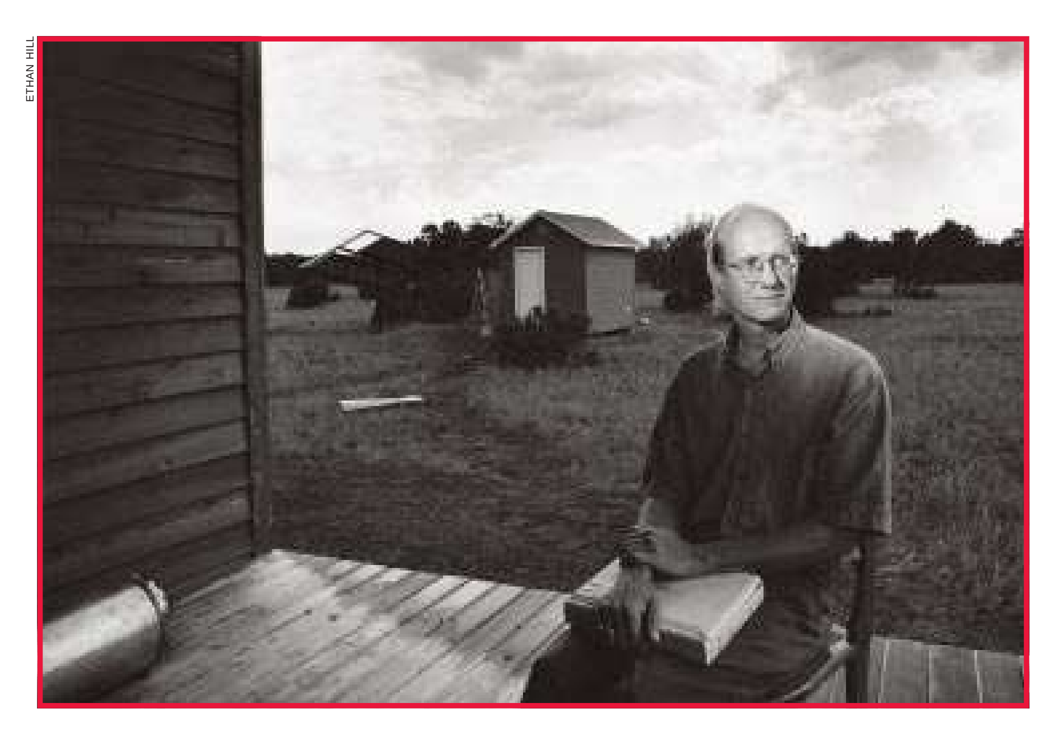
Das beste Abwehrmittel ist hier wie überhaupt allerdings der sorgsame Umgang mit Informationen aus unbekannter Quelle. Empfohlen wird, die JavaScript-Option des Internet-Browsers abzustellen, um das unkontrollierte Abarbeiten von Programmen, die Informationen stehlen oder zerstören können, zu verhindern. Unerbetene E-Mail-Anhänge, vor allem, wenn es Programme sind, sollte man unter gar keinen Umständen öffnen, sofern man auch nur den kleinsten Zweifel an deren Gutartigkeit hegt.

Matthias Weiß

Der Autor ist promovierter Mathematiker und Gastprofessor an der Case Western Reserve University in Cleveland (Ohio).



ETHAN HILL



In seinem Haus auf dem Lande in Arizona schreibt Mark A. Ludwig über Computerviren und Internetwürmer.

ins Weiße Haus ein und plauderte anschließend in kleinem Kreis mit ihm.

Jedes Jahr hält Def Con ein Seminar für Regierungsbeamte ab. Im Jahr 2000 erklärte Arthur L. Money, ein Ex-Staatssekretär im Verteidigungsministerium, bei dieser Gelegenheit den Anwesenden: „Wenn Sie besonders begabt sind und sich fragen, was Sie mit dem Rest Ihres Lebens anstellen wollen, dann kommen Sie zu uns und helfen Sie mit, unsere Leute auszubilden.“

1997 startete Moss die so genannten Black Hat Briefings. Black Hat ist im Hackerjargon ein Computerkrimineller. Theoretisch sollen diese Treffen der Ausbildung in Computersicherheit dienen. Sie sehen Def Con sehr ähnlich, nur kostet die Teilnahme tausend Dollar. Die Vorträge scheinen oft eher dem Begehen von Computerverbrechen zu dienen als deren Verhinderung. Zum Beispiel erfuhren die Anwesenden von einem „Beweismittel-Eliminator“, der angeblich „die Software überlistet, welche sowohl der amerikanische Secret Service, die Zollbehörde und die Polizei von Los Angeles verwenden“.

Dabei besitzt die US-Regierung ihrerseits durchaus die Vollmacht, Krieg im Cyberspace zu führen. Am 1. Oktober 2000 übernahm das US Space Command ein Projekt des US-Verteidigungsministeriums namens Computer Network Attack. Außerdem betreibt die Luftwaffe ein Information Warfare Center in San Antonio.

Wieso haben es die USA und China dann nötig, Cyber-Guerillas zu rekrutieren? „Ganz einfach. Von einer inoffiziellen Armee kann man sich jederzeit distanzieren“, sagt Mark A. Ludwig, Autor zweier Bücher über Computer- und Internet-Viren. „Wird das Militär selbst bei einem krummen Ding erwischt, ist die Blamage groß.“

Der hinterhältige Angriff von Code Red gab nur einen kleinen Vorgeschmack auf einen umfassenden Cyberkrieg. „Das war ziemlich sicher noch kein Versuch, einen Cyberkrieg auszulösen. Der Wurm war viel zu auffällig – wie eine stolz ausgeführte Graffito-Schmiererei“, sagt Harlan Carvey, ein Computersicherheitsberater aus Virginia.

Banges Warten auf den nächsten Crash

Doch Stuart Staniford, Präsident von Silicon Defense in Eureka (Kalifornien), warnt: Falls die Zombie-Computer eine lange Zielliste und einen Steuermechanismus zur dynamischen Ziel-Umprogrammierung besäßen, so hätten sie Zugriff auf alle möglichen DDoS-Server und könnten auf diesem Weg Adressen in Kontaktinformationen übersetzen, Korrekturcodes – so genannte Patches – verteilen und in Unternehmen eindringen, die Würmer analysieren oder Gegenmaßnahmen anbieten. „Code Red zeigt, dass es für einen Wurm nicht viel schwieriger ist, *alle* anfälligen Systeme zu befallen statt nur einige. Er muss sich nur schnell genug ausbreiten.“

Falls genügend viele Zombies genügend viele Zielen attackieren, könnte das gesamte Internet unbrauchbar werden. Selbst die üblichen Reparaturmaßnahmen – das Herunterladen von Anweisungen und Programmen zur Zombie-Bekämpfung sowie das Abschalten befallener Netzelemente – könnten versagen. Zudem veröffentlichen die Hacker unentwegt neue Tricks, in Computer einzubrechen, die auch von neuen Würmern benutzt werden könnten. Ein entschlossener Angreifer könnte einen verheerenden Wurm nach dem anderen ins Internet werfen und das System jedes Mal, wenn es sich wieder aufrappelt, erneut treffen, bis es schließlich zusammenbricht.

„Wir wissen, wie man einen richtigen Crash fertig bringt“, sagt Richard E. Smith, Forscher bei Secure Computing. „Besonders Besorgnis erregend fand ich, wie wenig öffentlichen Wirbel Code Red verursacht hat. Die Presse erzählte von einem fehlgeschlagenen Angriff auf das Weiße Haus statt von einem erfolgreichen Angriff auf Hunderttausende von Servern – nach dem Motto: Wir sind noch einmal davongekommen. Ein Zyniker könnte sagen: Das zeigt nur, wie einbruchstolerant IIS ist. Zwar wurden alle Sites geknackt, sie wurden aber nicht so stark gestört, dass die Betreiber erschrocken wären oder die Presse viel Wirbel gemacht hätte. Nur wir Übrigen warten auf den nächsten großen Krach.“ ■

Weblinks

zu diesem Thema finden Sie bei ***www.spektrum.de*** *unter „Aktuelles Heft“.*

Carolyn Meinel *verfasst häufig Artikel über Computersicherheit. Sie wohnt in Sandia Park (New Mexico) und ist Autorin der Bücher „The Happy Hacker“ und „Überhacker! How to Break Into Computers“. Meinels neuestes Werk „War in Cyberspace“ untersucht mögliche Internet-Kriege. Ihre Webseite happyhacker.org ist eine Informationsquelle für private PC-Nutzer.*

HUBSCHRAUBER

Himmlische Störenfriede

Hubschrauber sind in der Luftfahrt unentbehrliche Lastenträger, aber sie verursachen teuflischen Lärm. Weltweit packen Physiker und Ingenieure nun das Übel an der Wurzel.

Von Hanno Heller

Blue Thunder konnte es: Der in deutschen Kinos „Das fliegende Auge“ genannte Hubschrauber ließ sich im gleichnamigen Spielfilm von Normal- auf „Flüster“-Betrieb umschalten, um dann lautlos auf der Stelle zu schweben. Doch die Realität sieht anders aus: Schon von weitem kündigt sich ein Hubschrauber durch ein lautes Klack, Klack, Klack an, das beim Näherkommen einem Flapp, Flapp, Flapp weicht. Beim Überfliegen hört man ein propellerartiges Sirren und beim Landeanflug knattert es wieder.

Ungeachtet dieser Lärmbelästigung haben Hubschrauber Hochkonjunktur. Es gibt kein anderes Fluggerät, das es an Vielseitigkeit mit ihnen aufnehmen kann: Sie fliegen schnell geradeaus (manche bringen es auf mehr als 400 Kilometer pro Stunde) und können andererseits langsam aufsteigen beziehungsweise absinken und sogar auf der Stelle schweben. Hinter diesen Fähigkeiten steckt ein außerordentlich komplexes Auf- und Vortriebssystem, das letztlich aber auch den Lärm hervorbringt.

Den größten Anteil daran hat der Hauptrotor. Bei kleineren und leichteren Geräten besitzt er oft nicht mehr als zwei Blätter; der Gesamtdurchmesser beträgt dann vielleicht nur sechs Meter. Große Transporthubschrauber mit bis zu sechs Blättern können es schon auf eine Rotorfläche von zwanzig Metern Durchmesser bringen. Angetrieben durch leistungsstarke Turbinen zieht die Maschine ihr Eigengewicht samt Last nach oben und in jede gewünschte Richtung. Bei einem „normalen“ Flugzeug hingegen gibt es eine Arbeitsteilung: Die Tragflächen besorgen den Auftrieb, die Triebwerke schieben die Masse voran. Um nun beide Aufgaben zu übernehmen, bedarf der Hauptrotor eines Hubschraubers einer sehr komplizierten Steuerung.

Betrachten wir zunächst den Geradeausflug. Auftrieb setzt beim Flugzeug einen bestimmten Anstellwinkel der Tragflügel voraus, der umso größer sein muss, je geringer die Fluggeschwindigkeit und damit die Geschwindigkeit der anströmenden Luft ist (jenseits eines kritischen Grenzwinkels reißt die Strömung aber ab). Ein Hubschrauberrotor ist im Grunde ein sich drehender Tragflügel, doch ändert sich die Anströmgeschwindigkeit der Luft im Verlauf einer Rotation. Zum Beispiel beim Vorwärtsflug: Während einer Halbdrehung bewegt sich das Rotorblatt in Flugrichtung, während der zweiten dagegen; dementsprechend addieren sich in der ersten Phase Blattspitzen- und Fluggeschwindigkeit, in der zweiten muss letztere von der Blattspitzengeschwindigkeit abgezogen werden. Bliebe das Rotorblatt stets in der gleichen Stellung, ergäbe sich in der ersten Phase ein höherer Auftrieb und die Maschine würde kippen.

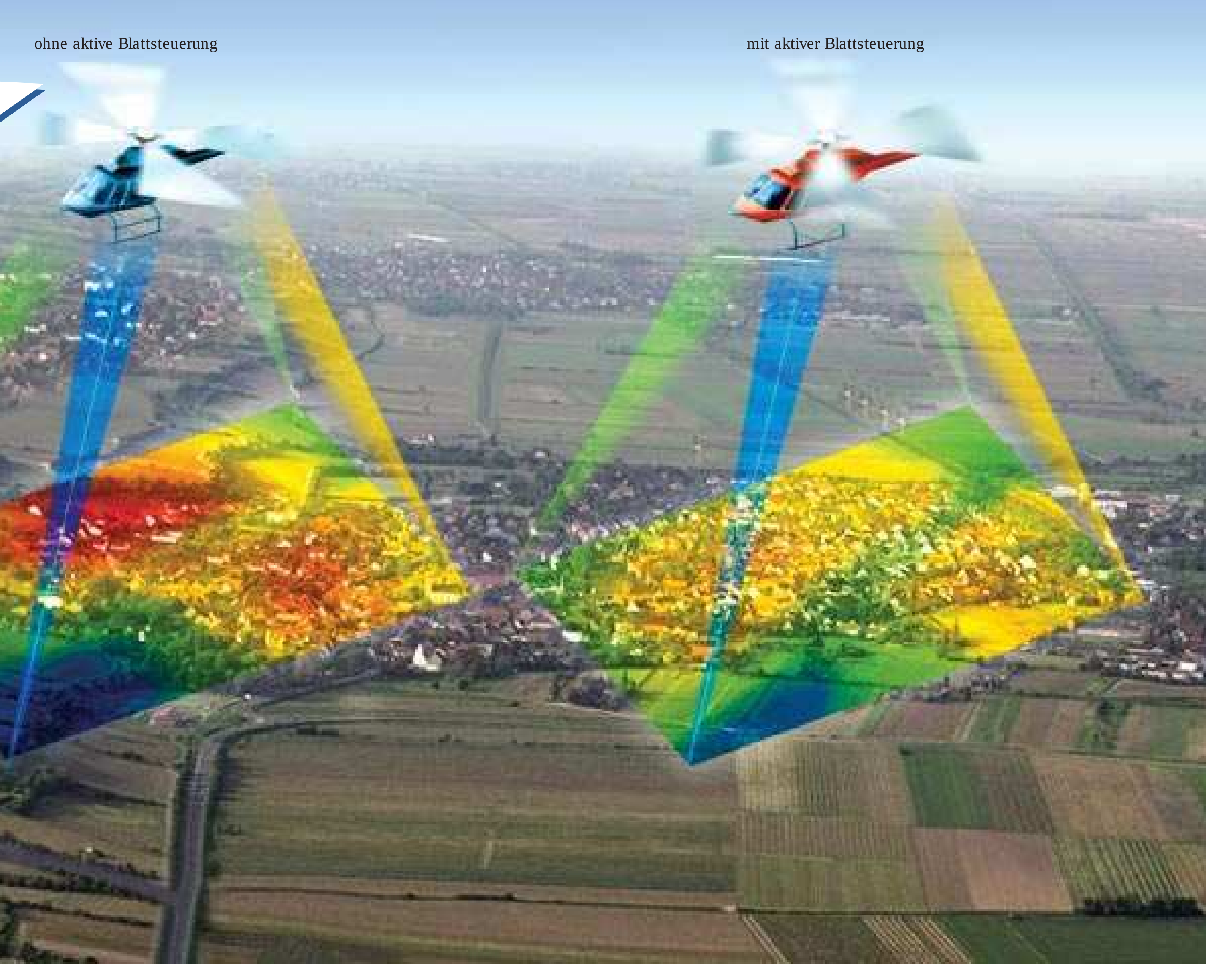
Der Trick besteht deshalb darin, den Winkel während einer Drehung so zu steuern, dass er im vorlaufenden, schnellen Bereich flacher ist als im rücklaufenden, langsameren. Aus diesem Grunde sind die Rotorblätter um ihre Längsachse steuerbar. Zusätzlich können sie senkrecht zur Rotorebene „schlagen“ und auch noch in der Rotorebene „schwenken“. Für diese drei Bewegungen werden zumeist Lager beziehungsweise Gelenke verwendet. Mechanisch kompliziert und aufwändig zu warten, ersetzen Hersteller wie Eurocopter sie zumindest bei leichten und mittelschweren Hubschraubern mehr und mehr durch flexible Blattwurzeln.

Wind

DLR / BRAUN / SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT

Steter Wechsel der Anstellung

Beim Vorlauf folgen die Blattspitzen der schnelleren Anströmung und dem somit höheren Auftrieb und bewegen sich nach oben. Doch dieser nach oben gerichteten Schlagbewegung entspricht umgekehrt auch eine Anströmung von oben. Sie verringert den lokalen Auftrieb. Beim Rücklaufen kehren sich die Verhältnisse um: Über die gesamte Rotorebene gesehen ist

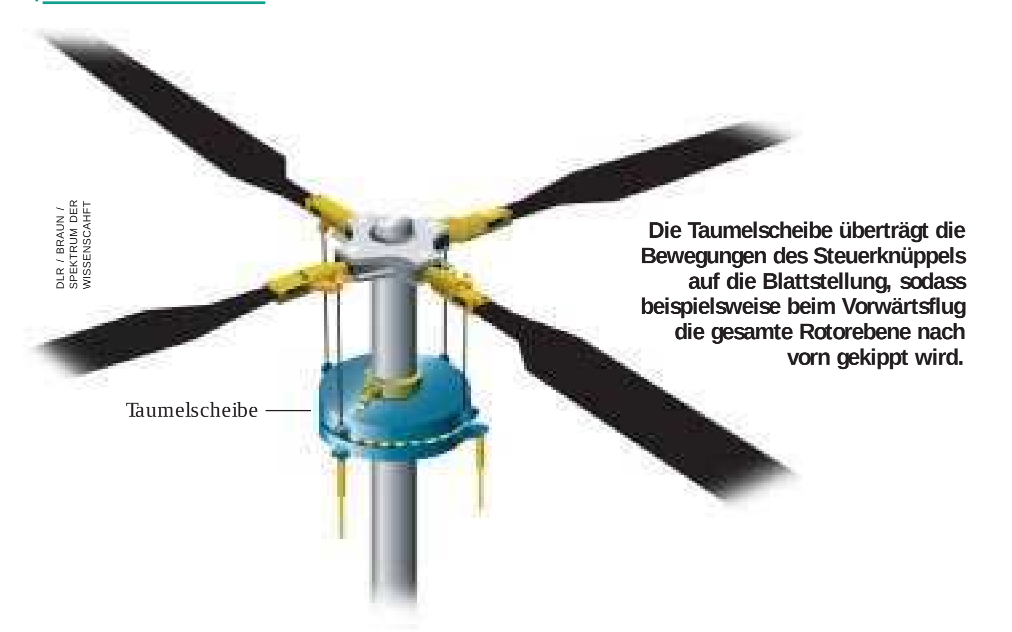


Hubschrauber bereiten Bewohnern überflogener Wohnsiedlungen keine Freude. Sie leiser zu machen, scheint Ingenieuren jetzt zu gelingen: Die individuelle Steuerung des Anstellwinkels jedes einzelnen Rotorblattes kann die Lärmabstrahlung zum Boden hin drastisch reduzieren, wie diese Montage zeigt. Das Schallfeld einer konventionellen Maschine (links) weist deutlich höhere Pegel auf (rot dargestellt) als das eines Hubschraubers mit Einzelblattsteuerung.

der Auftrieb nunmehr annähernd gleichförmig – der Hubschrauber fliegt „stabil“. Um nun tatsächlich auch vorwärts zu kommen, muss diese Ebene nach vorn geneigt werden, nur dann entsteht Schub in jene Richtung. Dazu werden die Anstellwinkel der Blätter zyklisch so verändert, dass die Blätter im hinteren Bereich einer Drehung nach oben und im vorderen nach unten schlagen.

Diese Einstellung erfolgt über die so genannte Taumelscheibe am Rotorkopf. Sie besteht meist aus einem stationären unteren Teil, an welchem die Steuerung angreift, und einem sich drehenden oberen, der über mitdrehende „Steuerstangen“ mit den Blättern verbunden ist. Die Taumelscheibe wird vom Piloten mittels Steuerknüppel in die gewünschte Richtung gekippt. Durch die Schrägstellung der Taumelscheibe schwingen die Steuerstangen pro Rotorumlauf auf und ab. Diesem folgt der Blattsteuerwinkel und damit der Blattauftrieb, dem wiederum (phasenverzögert entsprechend der Rotorschlagsteifigkeit) die Schlagbewegung – also während einer Umdrehungshälfte nach oben und während der anderen nach unten. Über diesen Mechanismus wird die Blattspitzen-Ebene in die gewünschte Flugrichtung geneigt.

Viele Jahre intensiver Forschung waren erforderlich, um die komplexen instationären Strömungsvorgänge an den Rotoren zu verstehen. Fragen wir zunächst nach der Ursache des Knatterns, wissenschaftlich korrekt gesagt des Rotor-Impulslärms. In der Tat gibt es zwei Sorten von Impulslärm, die für das Ohr aber ziemlich ähnlich klingen, nämlich den „Hochgeschwindigkeits“- und den „Blatt/Wirbelinteraktions“-Impulslärm. Der erste kann bei schnell drehenden Rotoren zwar schon im Schwebeflug auftreten, bei weniger schnell drehenden wirkt sich aber die beschriebene Addition der Geschwindigkeiten an der Blattspitze in der Vorlaufphase aus, denn die resultierende Anströmgeschwindigkeit kommt beim schnellen Geradeausflug der Schallgeschwindigkeit schon sehr nahe. Als wesentliche Kennzahl für das Auftreten des Hochgeschwindigkeits-Impulslärms wird die *advancing tip* ▶



Die Taumelscheibe überträgt die Bewegungen des Steuerknüppels auf die Blattstellung, sodass beispielsweise beim Vorwärtsflug die gesamte Rotorebene nach vorn gekippt wird.

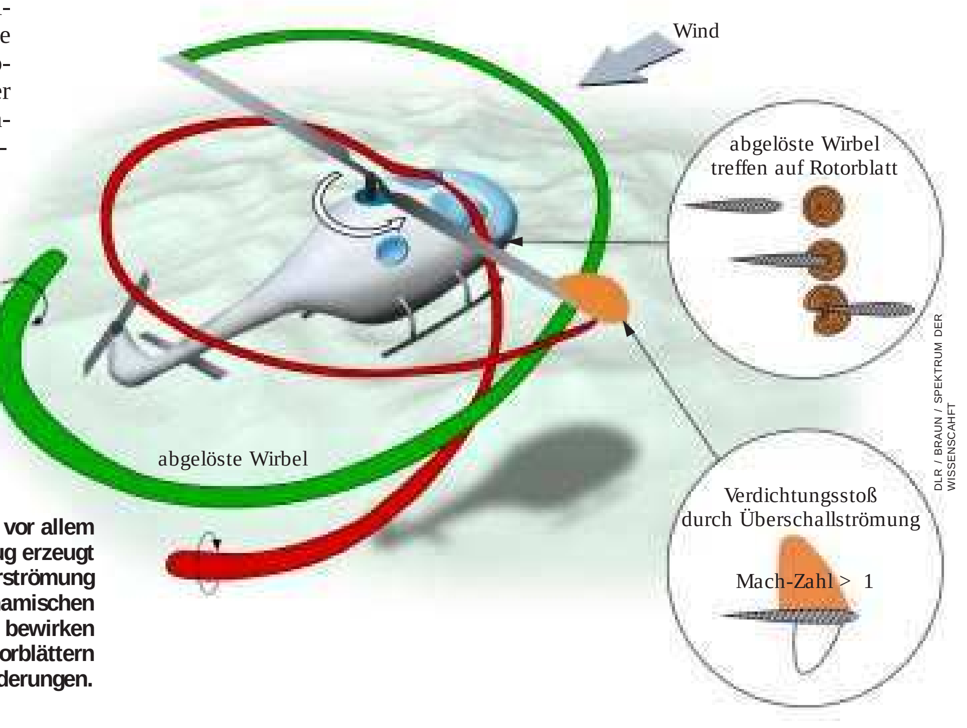
Mach number, kurz M_{AT}, angegeben. Das ist der Quotient aus der maximalen, in der Vorlaufphase auftretenden Anströmgeschwindigkeit und der Schallgeschwindigkeit in der umgebenden Luft. Je näher dieser Wert der eins kommt, desto wichtiger werden die „elastischen“ Eigenschaften der Luft, die sich aus der Kompressibilität des Gases ergeben; das hat auch akustische Auswirkungen.

Auftrieb an einem Tragflügelprofil entsteht, weil dessen Oberseite nach außen (konvex) gekrümmt ist, sodass die Luft dort schneller strömt als auf der weniger gekrümmten Unterseite. Damit einher gehen ein Druckunterschied, der den Flügel aufwärts trägt – und in unserem Fall ein paar Probleme: Selbst wenn M_{AT} nur 0,9 beträgt, kann die Strömungs-Mach-Zahl auf der Profiloberseite Werte größer als eins annehmen. Die überschallschnelle (supersonische) Strömung auf der Blattoberseite geht aber dann über einen Drucksprung in eine unterschallschnelle (subsonische) Strömung über. Nur für Sekundenbruchteile entsteht dabei ein „aerodynamischer Verdichtungsstoß“, und der ist die Quelle des impulsartigen Klackens. Dieser Hochgeschwindigkeits-Impulslärm ist in der Vorwärtsrichtung besonders deutlich zu hören, da seine akustische Richtkeule in der Rotorebene liegt und nach vorne weist. Deshalb kündet sich ein schnell näher kommender Hubschrauber auch schon aus großer Entfernung an.

Wirbel für Wirbel

Der „Blatt/Wirbelinteraktions-Impulslärm“ hat eine andere Ursache: Während der Auftriebsbewegung lösen sich stets Wirbel vom Rand eines Flügels ab. Das ist beispielsweise der Grund dafür, dass Verkehrsflugzeuge – bei denen diese Randwirbel gerade nach hinten abschwimmen – während der Landephase großen Abstand voneinander halten müssen. Beim Hubschrauber ist vor allem Lärm die Folge, nämlich dann, wenn solche Wirbel mit nachfolgenden Rotorblättern kollidieren (Details folgen weiter unten). Das geschieht insbesondere beim mäßig schnellen Landeanflug (die Fluggeschwindigkeit liegt typischerweise bei 25 bis 50 Metern pro Sekunde, der Sinkwinkel bei fünf bis acht Grad), wenn die Wirbelspuren in der Rotorebene verlaufen oder zumindest sehr nahe davon. Die Richtcharakteristik unterscheidet sich von dem zuvor geschilderten Impulslärm: Das vorlaufende Blatt strahlt Schall nach vorne, das rücklaufende nach hinten ab, aber stets nach unten oder oben und in einem Winkel von etwa 60 Grad. Den Blatt/Wirbelinteraktions-Impulslärm kann man also, wie erwähnt, besonders beim Landeanflug hören.

Schließlich wäre da noch der Heckrotor. Eine seiner Aufgaben ist es, das Drehmoment des Hauptrotors auszugleichen – ohne ihn würde sich der Hubschrauber um die eigene Achse drehen. Im Grunde ist der Heckrotor nichts anderes als ein seitlich schiebender Propeller. Weil sein Durchmesser viel kleiner ist als der des Hauptrotors, dreht er entsprechend schneller und weist dann etwa die gleichen Blattspitzengeschwindigkeiten auf. So können beide Formen des Impulslärms auch hier auftreten. Hinzu kommt noch die Interaktion mit Wirbeln, die sich vom Hauptrotor abgelöst haben und auf die Blätter des Heckrotors treffen. Es entsteht ein hochfrequentes „Sirren“, das bei entsprechender Drehrichtung hauptsächlich nach unten abgestrahlt wird und deshalb vor allem beim Überfliegen zu hören ist. Insbesondere beim schnellen Geradeausflug und beim



Das Knattern eines Hubschraubers hat vor allem zwei Quellen: Beim schnellen Vorwärtsflug erzeugt eine kurzzeitig überschallschnelle Überströmung der Rotorblattoberseite einen aerodynamischen Verdichtungsstoß. Beim Landeanflug bewirken abgelöste Wirbel an nachfolgenden Rotorblättern lokale Auftriebsänderungen.



DLR / DNW

Modell-Hubschrauberrotor in der offenen Messstrecke der so genannten Large Low-Speed Facility des Deutsch-Niederländischen Windkanals

Steigflug muss der Heckrotor volle Leistung bringen und macht deshalb viel Lärm; beim Landeanflug übertönt ihn der Hauptrotor.

Dass die Fachwelt all diese Vorgänge heute so gut versteht, verdankt sie der Arbeit zahlreicher in- und ausländischer Forscher. Wissenschaftler des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) aus Braunschweig und Göttingen nutzten im Rahmen von Kooperationen seit vielen Jahren die „Large Low-Speed Facility (LLF)“ des Deutsch-Niederländischen Windkanals (DNW) nahe Emmeloord am Noordoostpolder in den Niederlanden. Dieser Windkanal erwies sich als optimale Einrichtung, Rotorlärm experimentell zu untersuchen und Gegenmaßnahmen zu entwickeln. Der Grund: Sein weiter nutzbarer Querschnitt erlaubt es, auch große Modelle zu testen – ein unschätzbarer Vorteil, denn die Übertragbarkeit der Messergebnisse auf die Realität wächst mit der Annäherung an die Größe des Originals. Die Messstrecke des DNW-LLF ist zudem offen: Aus einer rechteckigen Düse (von sechs mal acht Metern Querschnitt) strömt die Luft über eine Entfernung von zwanzig Metern durch eine riesige, schallabsorbierend ausgekleidete Versuchshalle, bevor sie von einem Auffangtrichter wieder dem Windkanalkreislauf zugeführt wird. Ein Modellrotor lässt sich in die freie Strömung einbringen, der erzeugte Schall kann sich ungestört ausbreiten und in einiger Entfernung gemessen werden. Das entspricht eher den Verhältnissen der akustischen Wirklichkeit als in einer geschlossenen Messröhre.

So konnten die Forscher des DLR im Rahmen internationaler Kooperationen die genannten Quellen der Lärmentstehung sehr genau analysieren und Maßnahmen zur Lärmminderung ableiten. An dieser Stelle möchte ich die Erklärung für den Blatt/Wirbelinteraktions-Impulslärm nachliefern, die ein direktes Ergebnis dieser Forschung war. Betrachten wir einen Wirbel, der sich von einer Blattspitze abgelöst hat und nun auf das nachfolgende Blatt zuschwimmt. Das Geschwindigkeitsprofil eines solchen Mini-Tornados ist stets asymmetrisch. Strömt auf der einen Seite des Wirbelkerns Luft nach oben, fließt sie auf der anderen hinab (und umgekehrt), wobei die Geschwindigkeiten in Richtung des Wirbelkerns stark zunehmen. Trifft nun der Wirbel auf die Vorderkante eines Flügels, erhöht die aufwärts strömende Luft dessen Auftrieb lokal, während gleich darauf nach dem Durchlaufen des Wirbelkerns Abtrieb entsteht. Das Auftriebsverhalten des Blattes ändert sich also während einer solchen Wirbelpassage für Bruchteile einer Sekunde. Die impulsartigen Druckschwankungen erzeugen eine Abfolge impulsartiger Schallsignale.

Jedes Blatt zu jedem Moment optimal einstellen

Um diese zu mindern, ohne das Flugverhalten des Hubschraubers zu beeinflussen, gibt es drei Möglichkeiten: Man könnte

➤ die Wirbelstärke – das ist die maximale Geschwindigkeitsänderung nahe dem Kern – verringern,

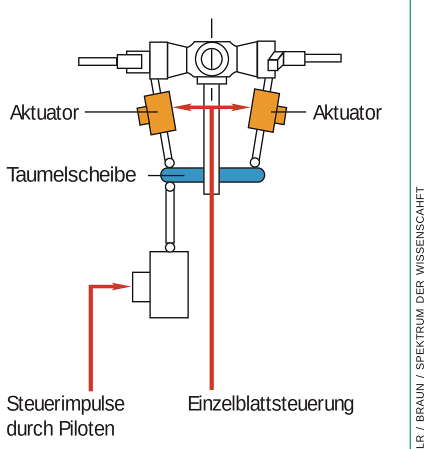
➤ die momentane Auftriebsänderung während der Wechselwirkung von Wirbel und Blatt minimieren oder

➤ die Entfernung zwischen beiden in dieser Phase vergrößern.

Das alles erfordert lediglich, den Anstellwinkel des Rotorblatts während eines Umlaufs „im richtigen Moment“ zu ändern und für Sekundenbruchteile optimal einzustellen. Eine hierfür geeignete und Erfolg versprechende Technik ist die Einzelblattsteuerung, auf Englisch *individual blade control* (IBC). Während die für den normalen Flugbetrieb erforderlichen zyklischen Winkeländerungen vier bis fünf Grad betragen, liegen diese IBC-Korrekturen bei maximal einem Grad. Die Technik dahinter umfasst Aktuatoren auf dem oberen, rotierenden Teil der Taumelscheibe, deren Längen individuell gesteuert werden. ▶



DLR / EUROCOP



DLR / BRAUN / SPEKTRUM DER WISSENSCHAFT

Am Versuchshubschrauberrotor einer BO 105 testeten die Wissenschaftler des DLR die Einzelblattsteuerung (Grafik). Neben der Taumelscheibe, die Steuerimpulse des Piloten überträgt, gibt es noch Aktuatoren, die den Anstellwinkel jedes Blattes optimal regeln.


EUROCOPTER

Bei leichten Hubschraubern sind ummantelte Heckrotoren Stand der Technik. Sie sind leiser. Doch die Ummantelung erhöht auch das Gewicht.

Den theoretischen Überlegungen folgten Modell-Versuche im DNW-LLF. Schließlich gab es Flugversuche mit realen Hubschraubern im Rahmen einer Kooperation der Firmen Eurocopter Deutschland, ZF Flugzeugbau und DaimlerChrysler sowie dem DLR. Dabei erwiesen sich die IBC-gesteuerten Rotoren als nur etwa halb so laut wie konventionelle – jedenfalls in Sachen Blatt/Interaktions-Impulslärm.

Bei ersten Versuchen wurden die optimalen IBC-Winkel empirisch durch Versuche bestimmt. In diesem Sommer haben die Wissenschaftler der genannten Einrichtungen in Zusammenarbeit mit dem EADS-Labor Ottobrunn einen Regelkreis getestet, bei dem ein Schallsignal als Regelgröße aufgenommen wurde.

Der durch den raschen Wechsel von Über- und Unterschallströmung auf der Profiloberseite der Rotorblätter verursachte Hochgeschwindigkeits-Impulslärm lässt sich aber nur durch hochfrequente Steuereingaben in den Griff bekommen. Das Ziel ist, hierbei den Verdichtungsstoß zu destabilisieren.

Eine in bestimmten Grenzen sehr effiziente und bei allen modernen Blättern angewandte Methode läuft darauf hinaus, die lokale Anströmung im äußeren Bereich des Blattes deutlich unter Mach Eins zu bringen. Eine ähnliche Aufgabe stellte sich übrigens auch den Entwicklern aller überschallschnellen Flugzeuge wie der Concorde. Sie lösten sie durch sich stark nach hinten verjüngende (gepfeilte), dünne Tragflächen. Zwar wurden diese mit Mach Zwei angeströmt (das entspricht über 2000 Kilometern pro Stunde), doch die Geschwindigkeitskomponente senkrecht zur Flügelvorderkante blieb durch die Formgebung subsonisch, und der sich ausbildende Verdichtungsstoß war weitaus schwächer, als es bei einem ungepfeilten Flügel der Fall gewesen wäre. Das gleiche Prinzip machen sich nun die Entwickler bei Rotoren von schnellen Hochleistungshubschraubern zu Nutze: Die Vorderkante wird im Bereich der Blattspitze nach hinten gepfeilt, diese möglichst dünn ausgebildet und dadurch der aerodynamische Stoß vermieden oder zumindest reduziert.

„Fly neighborly“ – auch Piloten sind gefordert

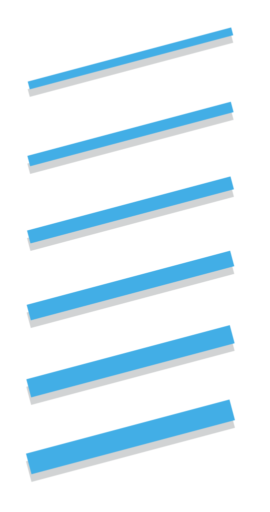
Noch ein Wort zur Akustik des Heckrotors. Prinzipiell gibt es vier Möglichkeiten, ihn leiser zu machen. Dreht er langsamer und noch dazu in Flugrichtung nach oben, so erzeugt er in Richtung Boden weniger Lärm. Rüstet man den Heckrotor mit relativ vielen Blättern (also mehr als zwei) aus, so hat das den Vorteil, dass die aerodynamische Blattbelastung auf „viele Schultern“ verteilt wird, was insgesamt zu weniger Lärm führt. Ordnet man die Blätter in Umfangsrichtung ungleichmäßig an, dann werden insbesondere die höherfrequenten tonalen Komponenten reduziert. Des Weiteren ummanteln einige Hersteller mittlerweile den Heckrotor (diese beim deutsch-französischen Hubschrauber EC 135 vorhandene Konfiguration wird „Fenestron“ genannt); das ermöglicht, den geforderten Schub mit geringerer Drehzahl und Blattbelastung zu erreichen. Und dies äußert sich in geringerem Lärm. Manche Hersteller verzichten ganz auf einen konventionellen Heckrotor. So ersetzt beim leichten amerikanischen Hubschrauber Explorer ein am Ende des Heckauslegers seitlich ausblasender Schubstrahl sowie eine durch Ausblasen entlang des Heckauslegers erzeugte Seitenkraft den Heckrotor. Diese pfiffige NOTAR (NO TAil-Rotor) genannte Technik verringert zwar den Lärm – und das ist in der Tat ihr primärer Zweck –, aber der erforderliche große Durchmesser des Heckauslegers spricht bei großen Hubschraubern gegen diese Lösung.

Viele solcher Verfahren werden schon heute bei Hubschraubern eingesetzt, aber wie immer müssen Kompromisse eingegangen werden. Weniger Lärm gibt es nicht umsonst. So spricht gegen die Nutzung von vielen Blättern der zusätzliche mechanische Aufwand, wie auch das höhere Gewicht. Die ungleichmäßige Verteilung von Blättern in Umfangsrichtung erfordert kompliziertere Rotorköpfe. Fenestron-Konfigurationen, wie eben auch die NOTAR-Lösung, sind aber Stand der Technik für Leichthubschrauber.

Derzeit arbeiten Forscher international daran, die komplexen aerodynamischen Wechselwirkungen von Haupt- und Heckrotor und deren Auswirkungen auf die Gesamtakustik noch besser zu verstehen. Hierbei gibt es auch zwischen Industriefirmen punktuelle Kontakte, die sich allerdings auf den vorwettbewerblichen Bereich beschränken. Auch die Flugbahnsteuerung etwa durch GPS (Global Positioning System) bietet Möglichkeiten, den Piloten bei einer „leiseren“ Flugweise zu unterstützen, wie durch lärmoptimierte Anflugwinkel und -geschwindigkeiten. *Fly neighborly* nennen unsere amerikanischen Kollegen die Devise des lärmarmen Fliegens.

Entscheidende Verbesserungen dürfte die Blattsteuerung im drehenden System bringen. Derzeit sind es noch hydraulische Aktuatoren. In zehn Jahren werden es piezoelektrische Elemente sein, die dann nicht mehr das ganze Blatt verstellen, sondern nur noch den Bereich der Blattspitze im äußeren Drittel. Diese Technik wird nicht nur aus Lärmgründen angewandt werden. Vielmehr kann sie zusätzlich Vibrationen reduzieren und frühzeitige Strömungsablösung bei Hochgeschwindigkeits- und Manöverflug und damit unerwünschten Leistungsanstieg vermeiden. Das Endziel einer Anwendung von Steuerstellern im drehenden System – sei es an der Blattwurzel oder zur Steuerung von Klappen im Blattaußenbereich – ist der komplette Ersatz des herkömmlichen Steuersystems. ■

*Der promovierte Diplom-Ingenieur **Hanno Heller** arbeitete mehr als dreißig Jahre auf dem Gebiet der Aeroakustik. Er leitete die Abteilung Technische Akustik am Institut für Entwurfsaerodynamik des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Braunschweig und war Präsident und Fellow des International Institute of Acoustics and Vibration (IIAV). Von der Confederation of European Aerospace Societies erhielt er den Award for Scientific and Technical Excellence in Aeroacoustics.* *Der Autor dankt Dr. Valentin Klöppel von der Firma Eurocopter für wichtige Hinweise.*



Unter Hypnose

Oft belächelt oder mystisch verklärt erobert sich die Hypnose einen festen Platz unter den therapeutischen Verfahren – etwa zur Schmerzbekämpfung oder bei psychosomatischen Störungen.

Von Michael R. Nash

„Sie werden jetzt schläfrig, sehr schläfrig ...“

In einem viktorianischen Salon lässt ein älterer, vornehmer Herr seine Taschenuhr vor dem Gesicht einer jungen Frau hin- und herschwingen. Ihr Blick folgt der Pendelbewegung. Sekunden später sinkt sie in ihrem Stuhl zusammen. Monoton antwortet sie auf Fragen, die Augen geschlossen. Wie auf Kommando hebt die Frau einen Arm, der scheinbar mühelos emporschwebt.

Jeder kennt solche Darstellungen der Hypnose aus Film und Fernsehen. Kaum fällt dieser Begriff, assoziieren viele pendelnde Taschenuhren. Kein Wunder, dass Hypnose häufig als Scharlatanerie abgetan wurde. Dabei dient sie mittlerweile recht erfolgreich zur Linderung chronischer Schmerzen, zur Behandlung von Angstzuständen und unterstützt die Genesung nach ambulanten Operationen.

In den vergangenen vierzig Jahren entwickelte die Wissenschaft Instrumente und Methoden, um zwischen Fakten und Mythen zu unterscheiden. Inzwischen ist die Untersuchung hypnotischer Phänomene ein Teil der Kognitionsforschung, die sich mit der Verarbeitung, Speicherung und Nutzung von Sinnesinformationen befasst. Natürlich gibt es immer noch spektakuläre Bühnenvorführungen zur reinen Unterhaltung. Neue wissenschaftliche Erkenntnisse zeigen jedoch, dass hypnotische Suggestionen, richtig eingesetzt, so unterschiedliche kognitive Prozesse wie Gedächtnis und Schmerzwahrnehmung beeinflussen können. Sicher ist auch: In der Sitzung richtet der Hypnotisierte seine gesamte Wahrnehmung auf den Hypnotiseur, zwischen beiden entsteht eine emotionale Wechselbeziehung. Vom Hypnotiseur vorgegebene Reize werden deshalb besonders intensiv aufgenommen und damit zur Suggestion, zum wirksamen Einfluss.

Um dieses Phänomen regelgerecht zu vermessen, entwickelten die an der Universität Stanford (Kalifornien) tätigen Psychologen André M. Weizenhoffer und Ernest R. Hilgard gegen Ende der 1950er Jahre die so genannte Stanford-Skala (*Stanford Hypnotic Susceptibility Scales*). Die Empfänglichkeit einer Person für die Hypnose lässt sich damit anhand standardisierter Tests ermitteln. Beispielsweise wird sie im Laufe einer Sitzung gebeten, einen Arm auszustrecken. Sagt man ihr nun, sie halte einen sehr schweren Ball, sollte der Arm bei wirksamer Suggestion herabsinken. In einem weiteren Test teilt der Hypnotiseur dem Probanden mit, er habe keinen Geruchssinn mehr, und wedelt dann mit einem Fläschchen Ammoniak unter seiner Nase. Reagiert der Angesprochene nicht, wirkt offenbar die Suggestion, andernfalls würde er das Gesicht verziehen und zurückweichen.

Die Stanford-Skala reicht von dem Wert null für Personen, die auf keine der hypnotischen Suggestionen reagieren, bis zu zwölf für Probanden, bei denen alle wirken. Die meisten Menschen liegen im mittleren Bereich der Skala zwischen fünf und sieben; 95 Prozent der Bevölkerung erreichen einen Wert von mindestens eins.

Untersuchungen, die sich auf die Stanford-Skala stützen, erhellen inzwischen einige grundlegende Prinzipien der Hypnose. So gilt es mittlerweile als sicher, dass der individuelle Wert auf dieser Skala im Lauf des Lebens mindestens so stabil bleibt wie der Intelligenzquotient. Auch Hilgards ursprüngliche Probanden zeigten nach 10, 15 oder 25 Jahren etwa dieselbe Empfänglichkeit wie beim ersten Test. Einige Befunde ▶

STECKBRIEF

- ➤ Hypnose ist ein spezifischer Bewusstseinszustand, der erhebliches Potenzial für Therapien und die Kognitionsforschung birgt.
- ➤ Der Hypnose werden einerseits geradezu übernatürliche Wirkungen zugeschrieben, andererseits sprechen ihr Skeptiker jegliche Eigenständigkeit ab.
- ➤ Durch standardisierte Tests sowie neurologische Untersuchungen, etwa auch mit bildgebenden Verfahren, wird das Phänomen Hypnose wissenschaftlich ergründet.



KYOKO HAMADA

Tiefe Entspannung und eine enge Beziehung zum Hypnotiseur sind typische Kennzeichen einer Hypnose.

deuten auf eine erbliche Komponente der Hypnotisierbarkeit hin: Eineiige Zwillinge haben eher den gleichen Stanford-Wert als gleichgeschlechtliche zweieiige.

Die Empfänglichkeit eines Menschen für Hypnose bleibt auch – unabhängig vom jeweiligen Hypnotiseur – ziemlich konsistent: Dessen Geschlecht, Alter oder Erfahrung wirken sich nur wenig oder gar nicht aus. Erstaunlicherweise spielt auch die Motivation der Probanden kaum eine Rolle: Ein für Hypnose hoch empfänglicher Mensch lässt sich unter den unterschiedlichsten experimentellen Bedingungen oder in den verschiedensten therapeutischen Settings hypnotisieren, während ein weniger empfänglicher Mensch, auch wenn er sich noch so bemüht, nicht reagiert. (Negative Einstellungen und Erwartungen können allerdings die Hypnosefähigkeit generell mindern).

Zu den großen Überraschungen gehört auch, dass zwischen Hypnotisierbarkeit und Persönlichkeitsmerkmalen wie Leichtgläubigkeit, Hysterie, Psychopathologie, Vertrauen, Aggressivität, Unterwürfigkeit, Fantasie oder sozialer Anpassungsbereitschaft vermutlich kein Zusammenhang besteht. Eine gewisse Beziehung liegt jedoch offenbar zu der Fähigkeit eines Menschen vor, sich in ein Buch zu versenken, intensiv Musik zu hören oder sich in Tagträumen zu verlieren.

Nur ein Mythos ist, dass sich Menschen unter Hypnose wie passive Automaten verhalten. Vielmehr agieren sie als aktive Problemlöser, die ihre moralischen und kulturellen Vorstellungen in ihr Verhalten integrieren. Gleichzeitig reagieren Hypnotisierte ausgesprochen sensibel auf Erwartungen, die der Versuchsleiter formuliert. Allerdings erleben Probanden das hypnotisch suggerierte Verhalten tatsächlich nicht als etwas aktiv Vollzogenes. Im Gegenteil – meist wird es als mühelos erfahren, als etwas, das einfach geschieht. Menschen, die hypnotisiert wurden, kommentieren ihr Erleben oft wie „Meine Hand wurde schwer und senkte sich ganz von allein“ oder „Plötzlich war der Schmerz verschwunden“.

Völlig losgelöst im Hier und Jetzt

Viele Wissenschaftler sind inzwischen der Meinung, dass ein solches losgelöstes Reagieren das Wesen der Hypnose ausmacht. Auf die Suggestion hin bewegen sich die Probanden, ohne es bewusst zu wollen, nehmen einen schmerzhaften Reiz nicht wahr oder vergessen vorübergehend etwas, das sie sonst immer wissen. Natürlich geschieht so etwas auch außerhalb der Hypnose – gelegentlich im Alltag, oder in dramatischeren Formen auch bei bestimmten psychiatrischen und neurologischen Störungen.

Im Labor lassen sich durch Hypnose zudem diverse psychische Effekte erzeugen: vorübergehende Halluzinationen, Zwänge, Gedächtnisverlust, falsche Erinnerungen und Wahnvorstellungen. So kann ein Psychologe diese Phänomene in einer kontrollierten Umgebung an Freiwilligen untersuchen.

Mittlerweile wurden auch einige skeptische Einwände ausgeräumt. Etwa der, dass Hypnose nur Ausdruck einer lebhaften Fantasie sei. Viele fantasievolle

Geschichte der Hypnose

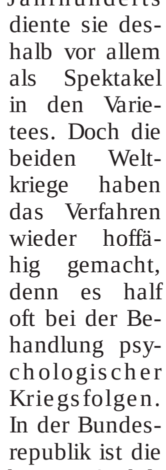
Mesmerismus – ein altes Hausrezept der Menschheit

Indische Yogis, persische Magier, babylonische und ägyptische Priester, griechische und römische Ärzte – durch die Jahrtausende der Menschheitsgeschichte nutzten Heiler immer wieder suggestive Zustände im Kampf gegen Krankheiten. Gebete und das Auflegen der Hände waren ein wichtiger Teil der Therapie im Mittelalter.

Im 17. und 18. Jahrhundert war die Hypnose als „Magnetismus“ sehr populär, vor allem dank des in Wien promovierten deutschen Arztes Friedrich Anton Mesmer (1734–1815). Nachdem er eine Patientin durch Auflegen dreier Magnete von schweren hysterischen Anfällen „geheilt“ hatte, postulierte Mesmer ein ätherisches Fluidum, den „Magnetismus animalis“, welcher ungehindert durch jeden gesunden Körper fließe, bei Krankheiten jedoch ins Stocken gerate. Aus Österreich aufgrund seiner obskuren Praktiken ausgewiesen, veranstaltete er in Paris populäre Séancen, bei denen viele seiner Patientinnen in Hypnose sanken, sodass heute noch *to mesmerize* im Englischen für „hypnotisieren“ steht.

Der Esoterik seiner Methode zum Trotz hatte Mesmer beachtenswerte Heilerfolge, weshalb der englische Chirurg James Braid (1795–1860) das Verfahren genauer untersuchte. Er erkannte die grundlegenden Mechanismen der Entspannung und Suggestion. Braid prägte den Begriff „Hypnose“, abgeleitet vom griechischen Wort *hypnos* für „Schlaf“ (Hypnos war bei den Griechen der Antike Gott des Schlafes und Bruder der Nacht). Erst später erkannte er, dass die Hypnose ein Wachzustand ist, der Begriff hatte sich aber schon durchgesetzt. Das Verfahren erfreute sich in der Therapie psychisch Kranker großer Beliebtheit. Sigmund Freud (1856–1939) nutzte es, um seine Patientin Anna O. zu den Wurzeln ihrer Symptome zu führen.

Auf dieser Behandlung aufbauend entwickelte Freud Theorie und Praxis der Psychoanalyse, die später die Hypnose verdrängte – Freud glaubte, die Beziehung zwischen Hypnotiseur und Patient behindere seine Therapie. Anfang des 20. Jahrhunderts diente sie deshalb vor allem als Spektakel in den Varietees. Doch die beiden Weltkriege haben das Verfahren wieder hoffähig gemacht, denn es half oft bei der Behandlung psychologischer Kriegsfolgen. In der Bundesrepublik ist die Hypnose Teil der Psychotherapie-Ausbildung. Eine Form der Selbsthypnose wird sogar in Volkshochschulen angeboten – das von Johannes Heinrich Schulz (1884–1970) entwickelte „Autogene Training“.



Bei der obskuren Behandlung von Nervenleiden, wie sie der Arzt Friedrich Anton Mesmer in seiner Pariser Wohnung von 1778 bis 1784 durchführte, spielte Hypnose wohl eine große Rolle.

Klaus-Dieter Linsmeier

Menschen lassen sich sogar nur schlecht hypnotisieren; alles in allem ist ein Zusammenhang zwischen den beiden Merkmalen nicht nachweisbar.

Dieses Vorurteil rührt vermutlich daher, dass unter Hypnose manche Menschen erstaunlich realistische Halluzinationen erleben. Dass hier sauber unterschieden werden muss, zeigten Henry Szechtman von der McMaster-University in Ontario (Kanada) sowie seine Kollegen im Jahre 1998 mit Hilfe der Positronenemissions-Tomographie (PET), einem bildgebenden Verfahren, welches den Hirnstoffwechsel indirekt misst. Offensichtlich sprechen unterschiedliche Gehirnregionen an, wenn ein Proband aufgefordert wird, sich einen Ton nur vorzustellen oder diesen unter Hypnose zu halluzinieren.


KYOKO HAMADA

Die meisten Menschen erreichen den hypnotischen Zustand, indem sie einen Fleck auf einer Wand fixieren und auf die beruhigende Stimme eines Hypnotiseurs hören.

Die Wissenschaftler untersuchten die Hirnaktivität von acht Probanden mit hohen Stanford-Werten, die fähig waren, unter Hypnose zu halluzinieren. Während des Tests lagen die Freiwilligen mit verbundenen Augen in einem PET-Scanner. Ihre Hirnaktivität wurde unter vier Bedingungen überprüft: in Ruhe; beim Hören einer Stimme von Band; wenn sie sich vorstellten, sie hörten sie erneut sowie während der auditiven Halluzination, die sie erlebten, nachdem man ihnen gesagt hatte, das Band werde noch einmal abgespielt, obwohl es nicht abgespielt wurde.

Die Tests ergaben, dass eine bestimmte Hirnregion (rechte vordere cinguläre Hirnrinde) während der Halluzinationen ebenso aktiv war wie beim Abspielen des Bandes. Das war jedoch nicht der Fall, wenn sich die Probanden nur vorstellten, sie würden den Stimulus hören. Offenbar hatte diese Hirnregion die halluzinierte Stimme als real, das heißt, von außen kommend, wahrgenommen.

Gegner der Hypnose bezweifeln, dass sie Schmerzen zu lindern vermag. Entsprechende Berichte erklären sie schlicht durch einen Entspannungs- oder einen Placebo-Effekt. Auch gegen diese Annahmen sprechen Experimente, darunter die schon klassisch zu nennende Studie von Thomas H. McGlashan und seinen Kollegen von der Universität von Pennsylvania in Philadelphia aus dem Jahre 1969. Die Wissenschaftler stellten fest, dass bei schlecht hypnotisierbaren Personen Hypnose Schmerzen immerhin ebenso erfolgreich linderte wie eine als starke Schmerztablette verabreichte Zuckerpille. Personen mit hohen Stanford-Werten hingegen sprachen drei Mal besser auf Hypnose an als auf das Placebo.

Gegen diese Annahme einer „Schmerzlinderung durch Entspannung“ sprach eine Untersuchung von Ernest R. Hilgard und seiner Kollegin Éva I. Bányai von 1976: Demnach waren Probanden in gleicher Weise für hypnotische Suggestionen empfänglich, ob sie nun in entspannender Umgebung oder heftig auf einem Heimtrainer strampelnd hypnotisiert worden waren. (Eine geräuscharme, beruhigende und optisch leicht gedämpfte Atmosphäre soll nach allgemeiner Meinung aber der Hypnose förderlich sein. *Die Redaktion)*

Besser als Placebos

1997 versuchten Pierre Rainville von der Universität Montreal (Kanada) und seine Kollegen zu klären, welche Gehirnstrukturen an der Schmerzlinderung durch Hypnose beteiligt sind. In diesem Fall offenbarte die PET eine Dämpfung der Aktivität der schon erwähnten vorderen cingulären Hirnrinde, die am Erleben von Schmerzen beteiligt ist. Die so genannte somatosensorische Hirnrinde, in der die vom Körper eintreffenden Schmerzsignale verarbeitet werden, zeigte hingegen keine Reaktion. Dazu passen Beobachtungen, wonach die meisten körperlichen Reaktionen bei Schmerz – etwa eine erhöhte Herzfrequenz – von hypnotischen Suggestionen relativ unbeeinflusst bleiben. Viele Wissenschaftler plädieren deshalb heute für die Annahme, Hypnose blockiere den

Literaturhinweise

Die therapeutische Hypnose. Von Günter Hole in: Deutsches Ärzteblatt 94, Heft 49 (1997), S. A-3351.

Contemporary Hypnosis Research. Von Erika Fromm und Michael R. Nash. Guilford Press, 1992.

Hypnosis for the Seriously Curious. Von Kenneth Bowers. W. W. Norton, 1983.

Weblinks bei ***www.spektrum.de*** *unter „Aktuelles Heft“.*

Schmerz über eine Wirkung auf höhere Gehirnregionen.

Aber können Menschen nicht bloß vorgeben, sie seien hypnotisiert, nur um die Wissenschaftler zu täuschen? Zwei grundlegende Studien räumten auch diesen Verdacht aus. In einem 1971 durchgeführten Experiment, bekannt unter dem Titel *The Disappearing Hypnotist* (Der verschwundene Hypnotiseur), verglichen Frederick Evans und Martin T. Orne von der Universität von Pennsylvania die Reaktionen von zwei Gruppen von Versuchspersonen: Eine Gruppe bestand aus bekanntermaßen hypnotisierbaren Personen, eine zweite aus Personen, denen man sagte, sie sollten nur so tun, als seien sie hypnotisiert. Ein Versuchsleiter, der die genaue Aufteilung nicht kannte, führte ein routinemäßiges Hypnoseverfahren durch, wurde aber durch einen fingierten Stromausfall unterbrochen. Als er den Raum verließ, um nach dem Rechten zu sehen, brachen diejenigen Personen, die nur so taten, als seien sie hypnotisiert, sofort ihre vorgetäuschte Hypnose ab: Sie öffneten die Augen, sahen sich im Raum um und stellten in jeder Hinsicht das vorgetäuschte Verhalten ein. Die wirklich hypnotisierten Personen hingegen beendeten ihre Hypnose langsam und mit einiger Mühe selbst.

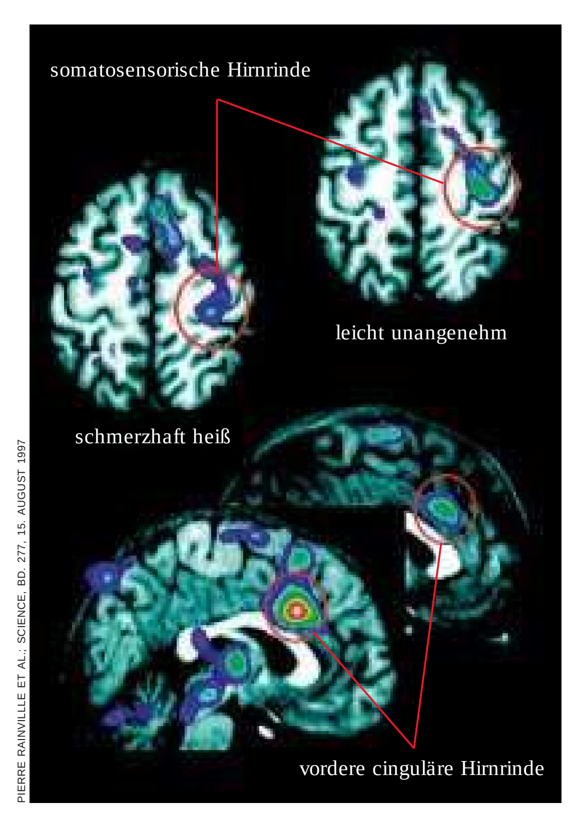
Simulanten neigen außerdem dazu, ihre Rolle zu übertreiben. Wenn solchen Versuchspersonen befohlen wird, sie

Mythos und Realität

Das Vorurteil	Die Wahrheit
Hypnose ist ein Ausdruck lebhafter Fantasie.	Die Fähigkeit, sich etwas lebhaft vorzustellen, hat nichts mit der Hypnotisierbarkeit zu tun.
Entspannung ist ein wichtiger Teil der Hypnose.	Hypnose kann auch bei heftiger körperlicher Bewegung durchgeführt werden.
Entscheidend ist die Bereitschaft, sich hypnotisieren zu lassen.	Viele hoch motivierte Versuchspersonen sind nicht hypnotisierbar.
Scheinbar hypnotisierte Personen täuschen dies nur vor.	Physiologische Reaktionen zeigen, dass Hypnotisierte nicht lügen.
Hypnose ist gefährlich.	Die üblichen Hypnoseverfahren sind nicht gefährlicher als ein Vortrag.
Hypnose ist ein schlafähnlicher Zustand.	Hypnotisierte sind hellwach.
Auf Hypnose zu reagieren ist dasselbe, wie auf ein Placebo zu reagieren.	Reaktionsbereitschaft auf Placebos und Hypnotisierbarkeit korrelieren nicht miteinander.
Personen mit einem bestimmten Persönlichkeitstypus sind leichter hypnotisierbar.	Es gibt keine signifikanten Korrelationen zwischen Persönlichkeit und Hypnotisierbarkeit.
Wer unter Hypnose steht, verliert die Selbstkontrolle.	Hypnotisierte können ohne weiteres „nein“ sagen oder die Hypnose beenden.
Unter Hypnose kann man seine Vergangenheit noch einmal erleben.	Im Alter regredierte, also in die Kindheit zurückversetzte Erwachsene verhalten sich unter Hypnose wie Erwachsene, die auf der Bühne die Rolle eines Kindes spielen.
Die Hypnotisierbarkeit hängt vom jeweils angewandten Verfahren und von der Person des Hypnotiseurs ab.	Unter Laborbedingungen ist beides nicht wichtig. Entscheidend ist die Hypnosefähigkeit der jeweiligen Person.
Unter Hypnose funktioniert das Gedächtnis besser.	Hypnose kann die Grenze zwischen Erinnerung und Fantasie verwischen und künstlich die Überzeugung entstehen lassen, dass die Vorstellungen real sind.
Hypnotisierte können dazu verleitet werden, Dinge zu tun, die ihren Grundüberzeugungen widersprechen.	Hypnotisierte Personen orientieren sich grundsätzlich an ihren moralischen Wertvorstellungen.
Hypnotisierte Personen erinnern sich nicht an das, was in der Sitzung geschehen ist.	Eine posthypnotische Amnesie kommt nicht spontan vor.
Hypnose kann Menschen dazu befähigen, im Hinblick auf Stärke, Ausdauer, Lernfähigkeit und Schärfe der Wahrnehmung Leistungen zu vollbringen, die ihnen anders nicht möglich gewesen wären.	Nach hypnotischen Suggestionen im Hinblick auf stärkere Muskelkraft, Lernfähigkeit und Wahrnehmungsschärfe liegt die jeweilige Leistung nicht höher als bei motivierten Personen ohne Hypnose.

sollten bestimmte Aspekte der Hypnose-Sitzung vergessen, behaupten sie oft allzu entschieden, sie hätten alles vergessen, oder aber sie berichten von merkwürdigen Erfahrungen, die von wirklich hypnotisierten Personen nur selten oder nie berichtet werden. Taru Kinnunen, Harold S. Zamansky und ihre Mitarbeiter von der Northeastern-Universität in Boston (Massachusetts) konnte Simulanten mit traditionellen Lügendetektor-Tests überführen. Wirklich hypnotisierte Personen beantworten Fragen nach den physiologischen Reaktionen im Allgemeinen wahrheitsgetreu.

Zu den Mythen gehört auch die Vorstellung, unter Hypnose könnten sich Erwachsene an Erlebnisse aus ihrer frühen Kindheit erinnern. Der Irrtum geht von den Hypnotisierten aus. Normalerweise erkennen Menschen ziemlich genau, ob ein Ereignis tatsächlich oder aber nur in ihrer Vorstellung stattgefunden hat. Einer der offensichtlich wichtigsten Hinweise ist die mit dem Erlebnis verbundene mentale Anstrengung. War sie hoch, so interpretieren wir es tendenziell als etwas, das nur in unserer Vorstellung existiert, und umgekehrt. Da Mühelosigkeit aber gerade ein Kennzeichen der Hypnose ist, neigen hypnotisierte Personen vermutlich dazu, ein nur fantasiertes vergangenes Ereignis für eine echte Erinnerung zu halten. Solche „false memories" kommen aber auch ohne Hypnose häufiger vor (Spektrum der Wissenschaft 1/1998, S. 62).



Hypnose im Bild

Hypnose kann Schmerzen lindern, weil sie die Aktivität von Hirnregionen dämpft, die am Erleben des Schmerzes beteiligt sind. Dies zeigen Aufnahmen mit dem Positronenemissions-Tomograph (PET), während die Hände einer hypnotisierten Versuchsperson in schmerzhaft heißes Wasser getaucht wurden. Dabei wurde ihr einmal suggeriert, sie empfinde das Wasser als „schmerzhaft heiß" (jeweils links), das andere Mal als „leicht unangenehm" (jeweils rechts). Die somatosensorische Hirnrinde, die Signale von Schmerzrezeptoren verarbeitet, zeigte jedes Mal eine hohe Aktivität (oben). Die vordere cinguläre Hirnrinde, die am Schmerzerleben beteiligt ist und damit eine höhere Hirnfunktion innehat, wurde durch die Suggestion jedoch erfolgreich gedämpft.

Effektivere Therapie psychosomatischer Störungen

Wenn leicht hypnotisierbaren Erwachsenen im Verlauf einer Sitzung suggeriert wurde, sie sollten in ihre Kindheit regredieren, verhielten sie sich tatsächlich oft kindlich und sehr emotional. Nach ihrem Erwachen waren sie überzeugt, Kindheitsereignisse wiedererlebt zu haben. Tatsächlich waren ihre Reaktionen hinsichtlich Verhalten, Emotionen, Wahrnehmung, Vokabular oder Denkmuster aber keineswegs kindlich, sondern entsprachen denen eines Erwachsenen, der ein Kind spielt. Hypnose ermöglicht uns leider nicht, Jahrzehnte alte Erinnerungen auszugraben.

Was also ist der medizinische Nutzen der Hypnose? 1996 bewertete eine Expertengruppe der Nationalen Gesundheitsinstitute der USA in Bethesda (Maryland) die Hypnose als effiziente Therapiemethode zur Linderung von Krebsschmerzen und anderen chronischen Schmerzzuständen. Ebenso deuten umfangreiche klinische Studien darauf hin, dass Hypnose auch akute Schmerzen dämpft, etwa bei der Behandlung von Brandwunden oder Wehenschmerzen. Eine so genannte Meta-Analyse (eine Auswertung verschiedener Studien), die vor kurzem in einer Sonderausgabe des *International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis* veröffentlicht wurde, kam zu dem Ergebnis, dass hypnotische Suggestionen die Schmerzen von 75 Prozent der 933 Teilnehmer an 27 verschiedenen Experimenten verringerten. Diese Wirkung ist oft sehr stark, übertrifft mitunter sogar die von Morphium. Die amerikanische Gesellschaft für klinische und experimentelle Hypnose warnt aber davor, Hypnose als einzige medizinische oder psychologische Therapieform einzusetzen.

Bei bestimmten Störungen kann sie aber die Wirkung einer Psychotherapie unterstützen. In einer weiteren Meta-Analyse wurde festgestellt, dass Patienten, die bei Störungen wie Fettsucht, Schlafstörungen, Angststörungen und Bluthochdruck eine kognitive Verhaltenstherapie und zusätzlich eine Hypnose erhielten, eine deutlichere Besserung zeigten als siebzig Prozent der nur psychotherapeutisch behandelten Patienten. Nach der Veröffentlichung dieser Ergebnisse bestätigte die Vereinigung der Psychologen Amerikas die Eignung der Hypnose als begleitende Therapie bei der Behandlung von Adipositas. Ungeklärt ist bisher ihr unterstützender Einfluss bei anderen Störungen mit einer Verhaltenskomponente. Drogenabhängige und Alkoholiker sprechen auf Hypnose nicht besonders gut an, und die positive Wirkungen bei der Raucherentwöhnung sind bisher nicht eindeutig belegt.

Vor mehr als dreißig Jahren prophezeite der Psychologe Hilgard, dass Wissenschaftler die Hypnose eines Tages routinemäßig nutzen würden, um Phänomene wie Halluzinationen, Schmerz oder Gedächtnis zu untersuchen. So in der Forschung verankert, würde ein klinischer Einsatz bei spezifischen Problemen selbstverständlich werden. An diesem Punkt sind wir zwar noch nicht angelangt. Dennoch hat sich die Hypnose schon weit von der pendelnden Taschenuhr entfernt. ■



Michael R. Nash *lehrt Psychologie an der Universität von Tennessee in Knoxville. Er ist Herausgeber des International Journal of Clinical and Experimental Hypnosis.*
Die Redaktion dankt der Deutschen Gesellschaft für Therapeutische Hypnose und Hypnoseforschung für fachliche Unterstützung.

MIKROSYSTEME

Boxenstopp im Zwergenland

Der Karlsruher MicroCar ist ein Schlüsselprojekt für die Mikrofabrik von morgen.

Von Ansgar Blessing, Axel Plutowsky und Hanno Tritschler

Eigentlich sollte man denken, dass die Niederungen des Mikrokosmos längst hinter der Wissenschaft liegen, künden selbst Tageszeitungen doch mittlerweile von ihren Erfolgen in der noch kleineren Nanowelt (Spektrum der Wissenschaft, Spezial 2/2001). Wer in der Lage ist, einzelne Atome zu bewegen, vermag aber nicht unbedingt auch Berge davon zu versetzen, und das noch dazu kostengünstig und in Serie.

Tatsächlich lässt der in den 1990er Jahren angekündigte Vormarsch der Mikrosystemtechnik auf sich warten. Ausnahmen gibt es durchaus, etwa Crash-Sensoren für Automobile oder Druckköpfe von Tintenstrahldruckern. Sie vereinen auf einem Silizium-Chip sowohl eine mechanische Komponente als auch die zu ihrer Steuerung erforderliche Elektronik. Vieles mehr sollte längst auf dem Markt sein, das das Label „Mikromechatronik“ verdient, doch leider passen die Welten der Mechanik und der Elektronik nicht immer gut zusammen, zumal nicht jede mechanische Komponente in Silizium herzustellen ist. Wer es – zumindest für ein spezielles Produkt – geschafft hat, beide wirtschaftlich zu vereinen, behält dieses Wissen gern als Betriebsgeheimnis für sich. Das betrifft auch die erforderlichen Fertigungsmethoden und -maschinen. Von der Stange gibt es sie nicht zu kaufen. Unternehmen, die nicht die Mittel haben, eine produktspezifische Fabrikationstechnik aufzubauen, haben das Nachsehen. Ergebnis: Die Nachfrage stagniert, der Markt kann sich nicht entwickeln.

Forscher der Universität Karlsruhe und des Forschungszentrums Karlsruhe suchen nun gemeinsam die Wissenslücken zu schließen. Dazu dient ein praxisnahes Musterprodukt, das möglichst viele Kernthemen der Mikromechatronik berührt: Sensoren und Aktoren, Regelungs- und Leistungselektronik, Informationsübertragung und Energiespeicher. Wie im Großen, so im Kleinen: Das universelle Testbett ist ein Automobil.

Der MicroCar Karlsruhe (MiCK) ist ein originalgetreues und voll funktionsfähiges Fahrzeug im Maßstab 1:87. Ein mikrotechnischer Stellantrieb bewegt darin die Lenkung, ein miniaturisierter Gleichstrommotor treibt über ein Präzisionsgetriebe aus Stahl und Messing die winzigen Kunststoffräder an. Das Herz der Elektronik ist der ferngesteuerte Microcontroller. Er berechnet die Steuersignale für die Leistungselektronik der Antriebe, schaltet gegebenenfalls Bremslichter ein und überprüft die Batteriespannung. Ein Mini-Empfänger leitet die Steuerungssignale der Handfernbedienung an den Controller weiter. Ist das empfangene Signal so gestört, dass die Empfangsdaten nicht mehr rekonstruiert werden können, lässt der Controller den MiCK abbremsen.

Das winzige Auto ist für uns im wahrsten Sinne des Wortes ein Vehikel – ein Mittel zum Zweck. Viel wichtiger ist der Ablauf von der Konstruktion über die Fertigung bis hin zur Montage. Wie lassen sich komplexe Mikro-Bauelemente montieren und passgenau ineinander fügen? Und vor allem: Wie kann man sie präzise in Serie fertigen?

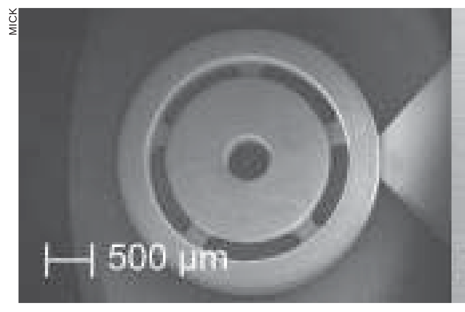
Anfangs versuchten wir wie andere Kollegen weltweit, die so erfolgreichen Verfahren der Mikroelektronik zu übernehmen: Auf einer Siliziumscheibe werden durch Belichtungs- und Ätzschritte die Strukturen hunderter Einzelchips gleichzeitig erzeugt; die Scheibe muss dann nur noch zersägt werden. Dieses Lithografie genannte Verfahren macht Strukturgrößen von wenigen Mikrometern möglich, die Oberflächen sind auf Nanometer genau gearbeitet. Und da viele Chips gleichzeitig entstehen, sind sie entsprechend billig.

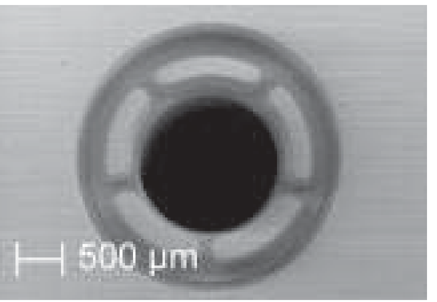
Doch leider eignet sich Silizium nicht für alle mechanischen Komponenten. Zudem gelingen mit der schattenwurfartigen Übertragung der Bauteilkonturen von einer Maske auf den Halbleiter nur Strukturen mit einem in der Höhe stets gleich bleibenden Grundriss. Um komplexe dreidimensionale Bauteile zu fertigen, müssten diese sukzessive aus dünnen Einzelschichten aufgebaut werden, deren Kontur sich langsam ändert. Zudem: Die Fertigungsstraßen der Mikroelektronik rechnen sich erst bei Stückzahlen von einigen Millionen; in der Mikromechatronik dürften dafür schon einige tausend bis zehntausend genügen.

Wir haben uns deshalb auf die althergebrachten Fertigungstechniken des Maschinenbaus wie Kunststoffspritzguss, Fräsen oder Drehen besonnen. Sie erlau-



Die neue Kompaktklasse: Der Karlsruher MicroCar vereint alle Probleme, die sich der Serienfertigung in der Mikrosystemtechnik stellen.





Diese wenige Millimeter durchmessende Felge (links) wurde aus Kunststoff im Spritzguss hergestellt. Die notwendige Mikroform besteht aus gefrästem Stahl (rechts).

ben durchaus Strukturgrößen von wenigen hundertstel Millimetern und komplexe dreidimensionale Geometrien, sind dazu noch vergleichsweise kostengünstig und flexibel auf unterschiedliche Geometrien, Werkstoffe und Stückzahlen einzurichten. Freilich lassen sich diese Verfahren nicht einfach durch kleinere Maschinen und Werkzeuge auf die Mikrowelt übertragen. Dazu ein Beispiel.

Die Felgen des MicroCar bestehen aus Kunststoff, für ihre Fertigung bietet sich der Spritzguss an, bei dem ein Kunststoffgranulat aufgeschmolzen, mit Zusätzen durchmischt und dann in eine Form gespritzt wird. Die Schmelze kühlt rasch und härtet dabei aus, die Form (fachlich „Formwerkzeug") öffnet sich, das fertige Teil wird entnommen. Weil die einzelnen Schritte nacheinander ablaufen, kann schon der nächste Guss vorbereitet werden, während das Produkt noch abkühlt. Dementsprechend erreichen solche Maschinen hohe Taktraten.

Eine Variante davon ist der Pulverspritzguss, bei dem Stahl- oder Keramikpulver mit einem Bindemittel gemischt, gespritzt und anschließend aufgeheizt werden; dabei entweichen flüchtige Anteile des Kunststoffbinders und die Partikel verbacken (Spektrum der Wissenschaft 4/1999, S. 95). So lassen sich Bauteile herstellen, die genauso komplex gestaltet sein können wie Spritzgussteile aus Kunststoff, sie bestehen aber aus hoch belastbarem Metall oder Keramik (siehe Kasten nächste Seite).

So weit die Theorie. Doch wie stellt man eine Spritzgussform her, die auf Mikrometer genau gearbeitet sein muss? Die obendrein in der Serienfertigung mehrere hundert Bar Druck und Temperaturen von einigen hundert Grad aushält? Stahl bietet sich als Werkstoff an, und das Fräsen als Technik, ihn in die gewünschte Form zu bringen. Dabei wird ein rotierendes Messer am Rohling entlanggeführt, das kaum dicker als ein menschliches Haar ist.

Doch normaler Stahl lässt sich nicht verwenden, denn dessen Gefüge besteht aus Kristallkörnern, die bereits so groß sind wie die gewünschten Bauteilstrukturen. Die Lösung stammt aus der Trickkiste der Metallurgen: Das Fräswerkzeug wird so erwärmt, dass die vorhandenen Körner sich wieder auflösen, und dann so abgekühlt, dass sich viel kleinere mit homogeneren Eigenschaften bilden. Möglich wäre es auch, nicht eine Schmelze, sondern metallische Pulver aus von vornherein sehr feinen Partikeln zu verwenden, die dann beim Erwärmen zusammenbacken.

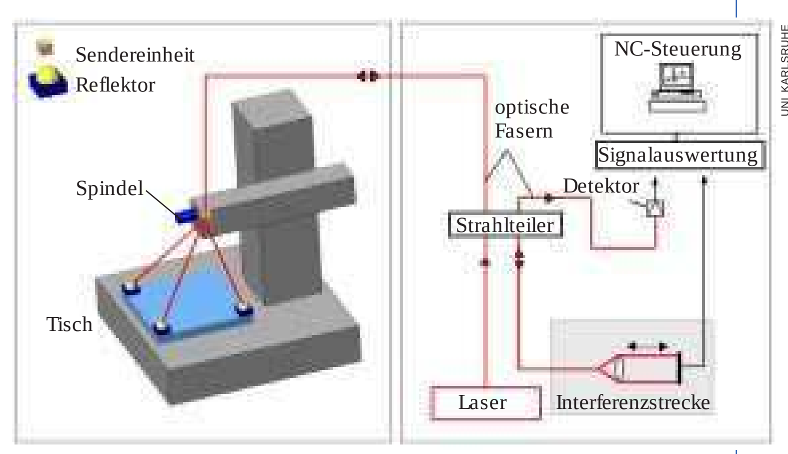
Werden die Abmessungen von Bauteilen und Werkzeugen kleiner, gilt dies natürlich auch für die erlaubten Toleranzen. So darf ein Lenkgetriebe bei makroskopischen Automobilen ein paar zehntel Millimeter Spiel haben, beim MiCK nur einige Mikrometer. Bei der herkömmlichen Fräsmaschine gibt es zwar durchaus Messsysteme, die auf weniger als einen Mikrometer genau arbeiten, dennoch ermitteln sie die Position ▶

Navigation in der Mikrowelt

Das lokale Positionssystem (LPS) ermittelt ebenso wie die vom GPS her bekannte Satellitennavigation den Abstand zwischen Sender und Empfänger aus der Laufzeit eines Signals, das zwischen beiden hin- und herläuft (Spektrum der Wissenschaft 1/1996, S. 102). Hier ist das Signal ein scharfer, infraroter Laserpuls. Ein wichtiges Merkmal ist seine so genannte Kohärenzlänge von etwa 0,1 Millimetern: Überlagert man zwei solche Pulse, darf ihr Lichtweg sich um maximal diesen Betrag unterscheiden, um Interferenz zu ermöglichen. Andernfalls gibt es im Zusammenkommen von beispielsweise Wellentälern und -bergen zu wenig Regelmäßigkeit und es bildet sich kein festes Muster aus Verstärkung und Löschung aus.

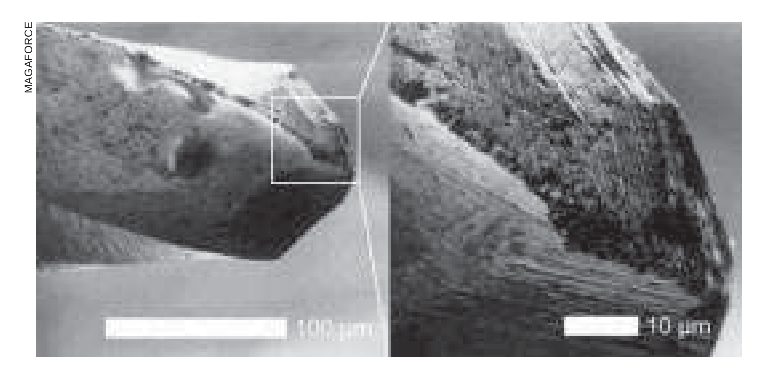
Ein Strahlteiler spaltet das Licht in eine Mess- und eine Referenzwelle auf. Erstere gelangt über eine optische Faser zu einer Sendereinheit und wird über eine spezielle Optik in alle Richtungen ausgestrahlt. Sie wird von Reflektoren zurückgeworfen und schließlich von dem Referenzstrahl überlagert. Der legt im Gerät gleichfalls eine Strecke zurück, deren Länge sich über einen speziellen Spiegel verstellen lässt (siehe Grafik). Findet ein Fotodetektor kein Interferenzsignal, müssen sich die optischen Wege beider Strahlen um mehr als die Kohärenzlänge unterscheiden. Der Referenzspiegel wird dann so lange automatisch verstellt, bis die Wege innerhalb der Toleranz übereinstimmen.

Bei drei gemessenen Abständen und bekannten Koordinaten der Reflektoren ergibt sich – wie beim GPS – die Position der Sendereinheit im Raum. Die Reflektoren entsprechen dabei den Satelliten; jeder Abstand definiert eine Kugel im Raum, auf der die fragliche Koordinate liegen muss. Alle drei Kugeln schneiden sich in zwei Punkten, von denen einer ausgeschlossen werden kann, da er unter dem Tischniveau liegen würde.

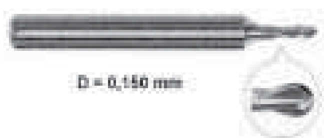


Aus den Abständen zwischen dem Sender und drei Reflektoren wird die Position des Werkzeugs berechnet. Diese Distanzen bestimmt eine Elektronik über eine längenverstellbare Interferenzstrecke.

MAGAFORCE



Feiner geht es nicht: Dieses Mikrofräswerkzeug (unten) aus Wolframkarbid und Kobalt zeigt Riefen (links), wie sie auch auf geschliffenem Glas zu finden sind. Die Krater ganz links entstanden, weil das Kristallgefüge aus immer noch zu großen Körnern besteht, die beim Schleifen des Werkzeugs herausgerissen wurden.



des Fräsers relativ zum Werkstück nur auf einige hundertstel Millimeter präzise – es gibt einfach zu viele, nicht vermeidbare Fehlerquellen. So wächst ein Stahlständer von einem Meter Höhe bei einem Grad Temperaturerhöhung – und das ist im Betrieb nicht selten – um elf Mikrometer. Er kippt demzufolge etwas aus der Senkrechten und verlagert dabei das Fräswerkzeug. Hochgenaue Messsysteme sind in den Achsen integriert, stellen also nur die Längenänderung, nicht aber die Verkippung fest und können den Fehler nicht korrigieren lassen.

Konventionell begegnet man diesem Problem heutzutage durch Kühlsysteme, spezielle Werkstoffe oder Fehlerkompensationssoftware. Unser Projekt nutzt hier eine gemeinsame Entwicklung des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe und der Firma Carl Zeiss. Angelehnt an die Satellitennavigation mittels GPS (Global Positioning System), bestimmt ein lokales Positionierungssystem (LPS) die relative Position vom Werkzeug zum Werkstück. Es basiert auf der Laserinterferometrie und misst auf zehn Mikrometer genau, arbeitet also direkt und berührungslos.

Die so hergestellten mechanischen Teile erweckten mit Hilfe einer von Hand aufgebauten Elektronik Ende letzten Jahres den ersten voll funktionsfähigen Prototypen zum Leben. Allein bei diesem manuellen Aufbau traten die erhofften Schwierigkeiten einer guten Ehe zwischen Elektronik und Mechanik nur zu deutlich zu Tage. Für eine einfache flache Platine, wie sie etwa in Computern oder der Unterhaltungselektronik üblich wäre, sind die mechanischen Komponenten viel zu verwinkelt. Die Elektronik musste deshalb Bauteil für Bauteil in den Lücken verstaut werden, die die Mechanik übrig ließ, verbunden durch einzelne feine Drähte. Für diejenigen Mitglieder unseres Teams, die sich mit Aufbautechnik und Montage beschäftigen, beginnt damit das Projekt erst jetzt so richtig. Denn die automatisierte Serienproduktion soll Ende 2002 anlaufen. Dann wird der Karlsruher MicroCar zwar auch ein nettes Spielzeug sein, vor allem aber ein einmaliges Vehikel auf dem Weg zur Mikrofabrik. ■

Die Autoren arbeiten als Ingenieure am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebstechnik der Universität Karlsruhe. **Ansgar Blessing** *leitet das Projekt MicroCar,* **Axel Plutowsky** *sucht im Rahmen des Vorhabens die Genauigkeit von Werkzeugmaschinen zu steigern, und* **Hanno Tritschler** *beschäftigt sich mit der Mikrozerspanung.*

Mikrospritzguss

Zahnrad aus der Backstube

Spezielle Metallpasten ermöglichen Mikrobauteile

Mikro-Ingenieure können bereits aus einer ganzen Reihe von Verfahren wählen, um Strukturen und Bauteile zu fertigen. Leider hat jede Methode Nachteile. Entweder ist sie teuer, eignet sich nicht für die Serienproduktion oder ist nur für bestimmte Materialien einsetzbar. Daher entwickeln Astrid Rota und ihre Kollegen vom Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und angewandte Materialforschung (IFAM) in Bremen den Metallspritzguss für die Mikro-Fertigung weiter. Ihr Testobjekt sind Zahnräder von unter einem Millimeter Größe.

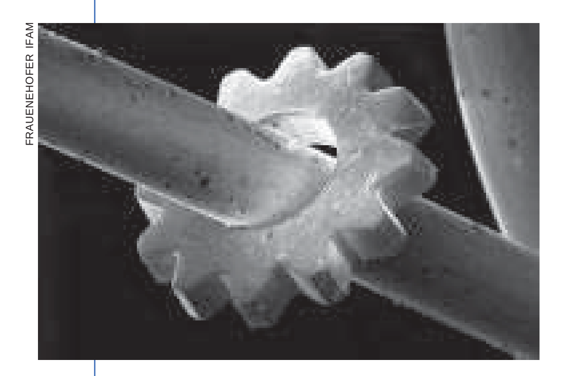
Im Prinzip funktioniert das Verfahren noch wie Makro-Spritzguss: Ein Metallpulver wird bei etwas über hundert Grad Celsius mit einem Kunststoff-Binder versetzt, unter Hochdruck in Formen gepresst und härtet dort aus. Anschließend wird der Binder durch organische Lösungsmittel oder Erhitzen ausgetrieben. Der so entstandene poröse Rohling wandert in einen Ofen, wo er bei 75 Prozent der Metall-Schmelztemperatur zu einem soliden Bauteil „verbackt“.

In herkömmlichen Metallpulvern messen die Körner im Mittel etwa zwanzig Mikrometer. Für Mikrobauteile mit glatten Oberflächen und feinen Strukturen dürfen die Partikel jedoch maximal fünf, möglichst nur ein bis drei Mikrometer groß sein. Weil das Verhältnis von Oberfläche zu Volumen dadurch stark steigt, erfordert das mehr Bindemittel. Es entsteht ein Metallschwamm mit größeren Hohlräumen, der beim Sintern stärker und unvorhersagbar schrumpft.

Die IFAM-Gruppe arbeitet daran, die benötigte Bindermenge zu reduzieren. Das gelingt, wenn man die Substanz flüssiger macht; dann hüllt auch eine geringere Menge die Metallkörnchen vollständig ein. Da aber gerade die zähflüssigen Bestandteile des Binders die Metallrohlinge stabilisieren, sind diese dann anfälliger für Kratzer oder abgebrochene Ecken.

Bei Makro-Spritzgussteilen ist das kein großes Problem, Teile im Mikro-Format können so aber schnell unbrauchbar werden. Rotas Gruppe experimentiert nun mit verschiedenen Komponenten – Polyethylen und Wachsen wie Paraffin –, um einen Mix zu finden, der den Widerspruch zwischen Fließeigenschaften und Härte beseitigt.

FRAUENEHOFER IFAM



Winzige Zähnchen im Rasterelektronen-Bild: ein Mikro-Zahnrad, hergestellt mit einer weiterentwickelten Variante des Metall-Spritzgusses.

Hermann Englert,
Wissenschaftsjournalist in Frankfurt

LUFTFAHRT

Lichtleiter geben Sicherheit

Elektronische Systeme machen das Fliegen sicherer, doch mit ihrer Anzahl wächst auch die der elektrischen Steckverbindungen. Da lohnt ein Umweg über Lichtleiter.

Von Jörg Moisel

Es ist dunkel und neblig, die Sichtweite beträgt keine hundert Meter, trotzdem findet der Pilot mittels Funkfeuer und anderer Elemente moderner Navigationstechnik seinen Weg durch die Nacht. Diverse Instrumente zeigen den Zustand der Triebwerke an, den Kabinendruck, die Treibstoffversorgung und vieles mehr. Ein Routineflug. Plötzlich sackt die Maschine ab und wird von einer heftigen Böe geschüttelt. Der erfahrene Pilot kann das Flugzeug zwar unter Kontrolle halten, doch einige Instrumente sind ausgefallen, die Position ist plötzlich unklar.

In diesem Szenario war vielleicht eine gelockerte Steckverbindung die Ursache. Denn all die elektronischen Systeme, die das Fliegen sicherer machen sollen, müssen miteinander kommunizieren. Das geschieht nach wie vor über mechanisch vermittelte Kontakte.

Von denen gibt es nicht wenige, allein jeder Computer an Bord bedingt eine Vielzahl davon, um die hohen Datenraten zu bewältigen. Denn wenn ein Prozessor in absehbarer Zukunft – wie sein Kollege in einem heute üblichen PC – Befehle mit einer Taktrate von einem Gigahertz abarbeitet, erfolgt die An- und Abfuhr der Bits und Bytes sehr viel langsamer, nämlich mit 33 oder 40 Megahertz (nach der so genannten PCI- beziehungsweise VME-Norm für Datenbusse). Insbesondere die Länge der Leitungen und die dielektrischen Eigenschaften der verwendeten Materialien setzen unüberwindbare Grenzen. Um dennoch hohe Datenraten zu erreichen, werden gleichzeitig mehrere Leitungen verwendet: 32 PCI-Verbindungen schaffen 1,056 Gigabit pro Sekunde.

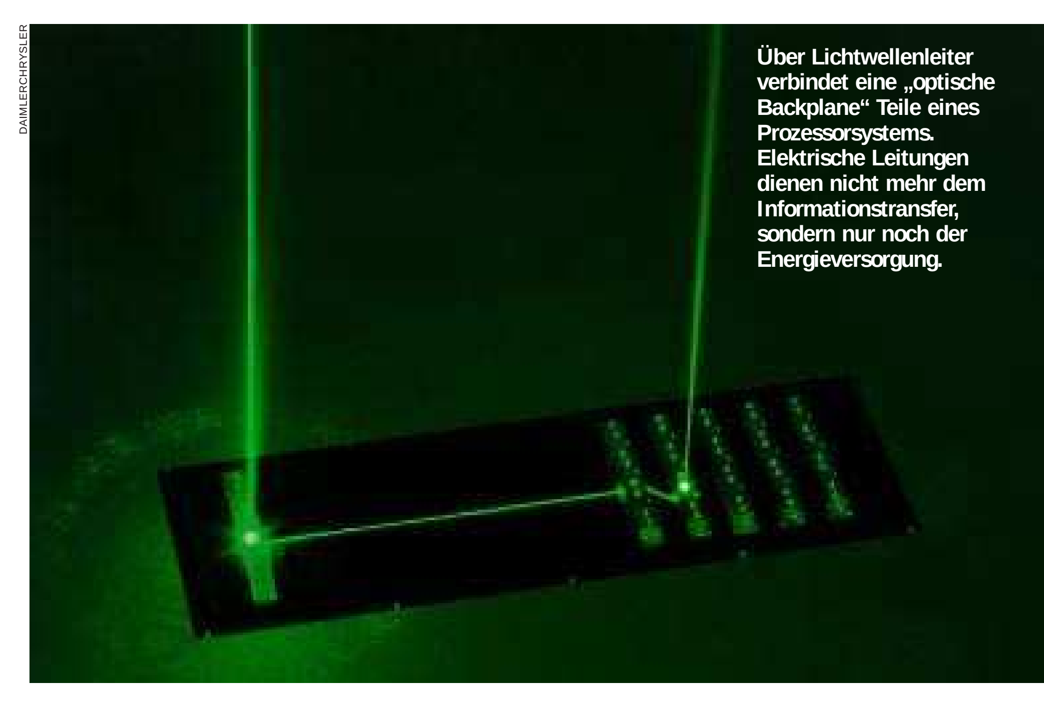
Bordrechner in Flugzeugen bestehen wie die meisten Hochleistungsrechner aus mehreren Prozessorkarten, die über die Rückwandverdrahtungsplatte beziehungsweise „Backplane“ miteinander kommunizieren. Die besteht aus einer Leiterkarte mit vielen Steckplätzen und einer großen Zahl elektrischer Verbindungen; sie entspricht dem *motherboard* bei Computern, hat aber keine aktiven Komponenten. Dabei fallen leicht mehrere tausend elektrische Kontakte an. Vom Platzbedarf abgesehen wachsen damit auch die bei Erschütterungen auf die Steckverbinder einwirkenden Kräfte, ebenso die Genauigkeitsanforderungen bei der Montage.

Wünschenswert wäre deshalb der Übergang zu einer Technologie, die mit weniger Kontakten auskommt. Die optische Datenübertragung bietet sich an: Schon über eine einzige Glasfaser können pro Sekunde vierzig Gigabit reisen (entsprechend 1200 parallelen elektrischen PCI-Leitungen). Hinzu kommt, dass Lichtsignale kaum auf Blitzschlag und andere elektromagnetische Störungen reagieren, und dass Glasfasern deutlich leichter und kompakter als elektrische Leitungen sind.

Leider gibt es auch einen großen Nachteil: Die elektronischen Komponenten senden ihre Daten als elektrische Signale, die Laserdioden in optische umwandeln müssen, Fotodioden machen daraus nach der Übertragung wieder elektrische Bit-Folgen (vergleiche Spektrum der Wissenschaft 6/2001, S. 80). Je kürzer die zu überbrückende Entfernung, desto teurer wird so ein Unterfangen – was sich auf eine Distanz von zehn Kilometern in der Telekommunikation rentiert, erscheint bei wenigen Zentimetern zu aufwändig.

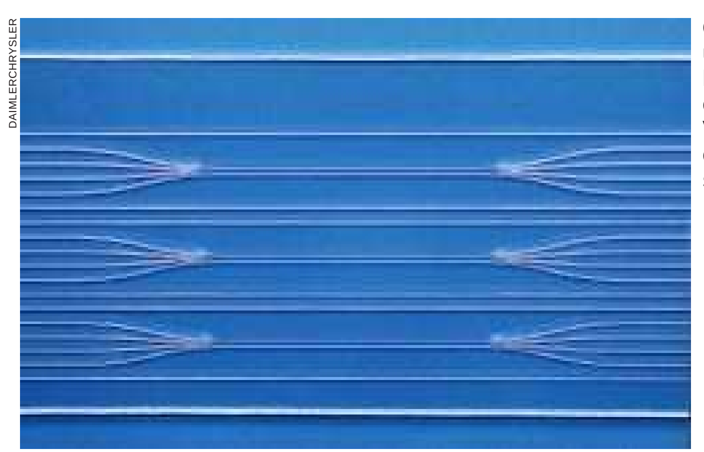
Die wünschenswerte „optische Backplane“ für die verschiedenen Einheiten von Bordcomputern lässt sich deshalb nur dann realisieren, wenn die Kosten der optischen Datenübertragung drastisch fallen. Dazu gehören preiswertere Laserdioden, vor allem aber Polymerwellenleiter statt Glasfasern. Zwar verschmieren die Lichtsignale darin stärker, doch bis zu einer Datenrate von zehn Gigabit pro Sekunde und einer Strecke von nicht mehr als einem Meter ist das kein Problem (Spektrum der Wissenschaft 6/2001, S. 89). Weil diese Wellenleiter deutlich dicker sind als Glasfasern, verringern sich auch die Anforderungen an Herstellung und Montage: Statt weniger als ein Mikrometer Genauigkeit reicht das Hundertfache.

Für die kostengünstige Herstellung der Wellenleiter haben wir am DaimlerChrysler Forschungszentrum in Ulm das so genannte Direktschreiben entwickelt: Ein Strahl kurzwelligen Lichts bewegt sich über einen flüssigen, lichtempfindlichen Kunststofffilm, die belichtete Spur härtet aus. Durch Verschieben des Brennpunkts lassen sich so am Computer entworfene Wellenleiter-Schaltungen schreiben. Strukturen bis zu einen Meter Länge und dreißig Zentimetern Breite sowie komplexe, beispielsweise sternförmige Anordnungen sind möglich. In die Wellenleiter eingebettete Mikrospiegel ▶



DAIMLERCHRYSLER

Über Lichtwellenleiter verbindet eine „optische Backplane“ Teile eines Prozessorsystems. Elektrische Leitungen dienen nicht mehr dem Informationstransfer, sondern nur noch der Energieversorgung.



DAIMLERCHRYSLER

Gerade Wellenleiter und 4 × 4-Sternkoppler lassen sich mit einem neuartigen Verfahren direkt in einen Kunststofffilm schreiben.

koppeln das Licht in die Wellenleiter ein und wieder aus.

Allein diese Leitungstechnik senkt bereits die erforderliche Justage-Genauigkeit. Uns gelang noch ein weiterer Schritt: Das aus einem Wellenleiter austretende Licht divergiert, würde also auseinander laufen. Es wird in einem Stecker – der Schnittstelle zwischen optischer Backplane und einer elektronischen Komponente – von einer Linse zu einem Strahl von einigen Millimetern Durchmesser gebündelt. Auf der Leiterkarte befindet sich das Pendant, um das Signal auf eine Fotodiode zu fokussieren, die dieses in elektrische Bits und Bytes umwandelt. Ungenauigkeiten in der Steckerjustage von bis zu einem halben Millimeter schwächen das Signal dank dieser Vorrichtung nur geringfügig. Zum Vergleich: Bei den in der Telekommunikation üblichen Glasfasern bewirken schon einige tausendstel Millimeter Fehler den Totalausfall der Leitung.

Mittlerweile absolvieren Prototypen optischer Backplanes diverse Funktions- und Zuverlässigkeitstests. Bis zu einer Zulassung in der zivilen Luftfahrt werden freilich noch Jahre vergehen. Vorher könnten schon andere Anwendungen Serienreife erlangen, etwa in den Vermittlungsstellen der Telekommunikations-Glasfasernetze. Das Direktschreiben erwies sich zudem als ein sehr universelles Verfahren: Es kann Wellenleiterstrukturen auf fast allen Grundmaterialien herstellen, auch auf elektrischen Folienschaltungen für Automobile. ■

Der Physiker **Jörg Moisel** *promovierte über mikrooptische Abbildungssysteme. Im DaimlerChrysler Forschungszentrum in Ulm leitet er das Projekt „Optische Backplane“.*

Navigation in der Mikrowelt

Es kann der Frömmste nicht in Frieden rasen …

Das Internet im Auto stellt neue Herausforderungen an die Fahrkunst

Es war ein ganz normaler Morgen auf der A5 in Richtung Frankfurt. Ich war unterwegs zu einem dieser Termine, die einen Mann zwingen, seine besten Seiten herauszukehren. Also hatte ich den BMW genommen. Wer hätte geahnt, dass die Fahrt so enden würde.

Was blinkt mir dieser Ferrari rein, denke ich noch, das ist meine linke Spur. Soll er doch rechts überholen.

„You’ve got new mail!“ Ausgerechnet jetzt, mit diesem Deppen im Nacken.

„Kommandant an Brücke. Order: Halogen!“ „Bestätige: Halogen ist an!“

„Blinker links!“ „Bestätige: Blinker gesetzt.“ „Tempomat 200, Order Ende!“ „Bestätige: Tempo 200 konstant.“

So, soll der sich doch grün und blau ärgern. Ich widme mich jetzt meinem Web-Modul. „Mailserver. Vorlesen.“

Endlich, die aktuellen Börsenkurse. Ich lasse sie mir auf die Windschutzscheibe spiegeln. Holla, sehe ich da nicht Gewinnchancen bei TelematiXX? Wenn ich noch einen winzigen Moment warte und dann online verkaufe? Ich starre gebannt auf die Charts, bewegt sich der Kurs weiter nach oben? Ich starte die technische Chart-Analyse. Frage das Wetter in Tokio und die politische Lage in Guatemala ab. Man glaubt ja gar nicht, von welchen Faktoren ein Börsenkurs abhängen kann.

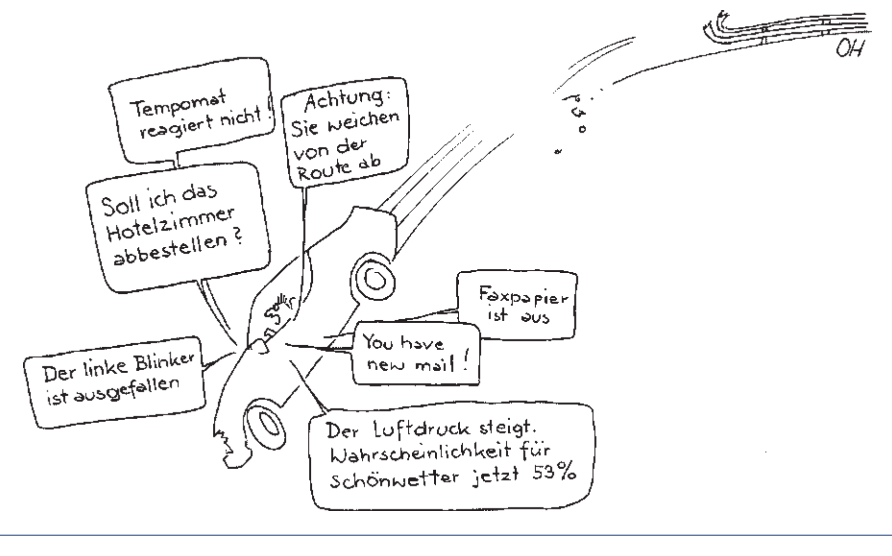
Wenn dieser Ferrari nur aufhören würde, mir reinzublinken. Ja, da bewegt sich was im Chart und – vor mir!

„Brücke an Kommandant. Crash in fünf Sekunden. Fünf … vier … drei …“

Es war ein schwarzer Freitag. Bis die Feuerwehr meine Limousine aufgeschweißt hatte, vergingen Stunden. Zwischen Airbags eingeklemmt, musste ich hilflos mit ansehen, wie mein Wagen zerfiel und TelematiXX zunächst um ein halbes Prozent stieg, später abstürzte. Ich konnte mein Aktienpaket nicht im richtigen Moment abstoßen, denn das Sprachmodul war tot. Obendrein hatte der Crash die Videokonsole im Rücksitz aktiviert, die nun unablässig den Trailer eines kindgerechten Action-Shooters abspulte (im Lieferumfang des Wagens inbegriffen).

Zu allem Ärger befragte mich später ein Polizist nach „Ablenkungen beim Fahren“. „Ich hatte die Augen permanent nach vorn gerichtet“, antwortete ich wütend, „aber so ein Ferrari hat mir ständig reingeblinkt!“ Jetzt soll ich für Aufmerksamkeitstests in den Fahrsimulator. Bloß weil manche Wissenschaftler vor der Informationsflut warnen, die aus dem Internet ins Auto schwappt. Das ist alles Unsinn, man muss halt fahren können. Schuld war bloß der Ferrari!

Klaus-Dieter Linsmeier



LEBENSMITTELVERARBEITUNG

Heiße Ware, gute Ware

Schön braun sollen sie sein und gut duften, deshalb werden Kaffeebohnen durch Heißluft geröstet; die gewünschten Aromastoffe entstehen vermutlich jenseits von etwa 180 Grad Celsius. Da sich aber die Chargen beispielsweise in ihrer Feuchte unterscheiden, stellen Großproduzenten ihre Anlagen anhand von Proberöstungen ein, ein Fachmann beurteilt dazu Farbe und Größe der Bohnen.

Wissenschaftler eines französischen Forschungsverbundes für Lebensmittelverarbeitung in Massy bei Paris versuchen den Röstprozess nun zu automatisieren. Aus Videobildern bestimmten sie beispielsweise die Helligkeit der Bohnenoberfläche als Index der Farbveränderung. Des Weiteren entwickelten sie ein physikalisches Modell, das Lufttemperatur und verstrichene Zeit mit der – normalerweise nicht zugänglichen – inneren Temperatur der Bohnen in Beziehung setzt. Die Forscher trainierten zudem ein neuronales Netz, aus diesen Daten die Helligkeit korrekt zu bestimmen. Letztlich soll der Röstprozess anhand von Farbton-, Größen- und/oder Lufttemperaturmessungen von einer Automatik optimiert werden.



HANS WOLF / IMAGE BANK

Neuronales Netz lernt Kaffeerösten.

PESTIZIDE

Der neue Älch-Test

Wenn der Frühling kommt, geben Kartoffelpflanzen eine Solano-Eclepin A genannte Substanz in den Boden ab, die vermutlich das Pflanzenwachstum fördert. Leider weckt dieses Phytohormon auch einen gefürchteten Schädling aus dem Winterschlaf: Junge Älchen mit Namen *Globodera pallida* entwickeln sich auf den chemischen Weckruf hin aus Eiern und kriechen zu den frisch gebildeten Wurzeln, um Saft zu saugen.

Infolge des Befalls mit diesen Fadenwürmern verlangsamt sich das Pflanzenwachstum, der Ertrag vermindert sich. Bislang war die einzige Erfolg versprechende Strategie, einen Acker nur alle fünf Jahre mit Kartoffeln zu bepflanzen. Chemikern der Universität Amsterdam ist es nun gelungen, Solano-Eclepin A teilweise nachzubauen. Die Idee klingt einfach: Auf einem befallenen Feld werden keine Kartoffeln gesetzt, aber der chemische Wecker verteilt. Während die Eier Jahre überdauern, verhungern die jungen Würmer ohne Nahrung innerhalb von acht Wochen. Somit könnte das Feld im folgenden Jahr wieder für den Kartoffelanbau genutzt werden. Das Problem: Solano-Eclepin A ist ziemlich kompliziert gebaut. Erst 1992 gelang es, die komplexe chemische Struktur zu entschlüsseln – es handelt sich um ein Molekül aus sieben ringförmigen Gruppen. Vier dieser Ringe konnten mittlerweile synthetisiert werden, zwei der Derivate zeigen bereits eine dem Original vergleichbare Lockwirkung.



JOSEPH DEVENNEY / IMAGE BANK

Mehr Kartoffeln dank Lockstoff

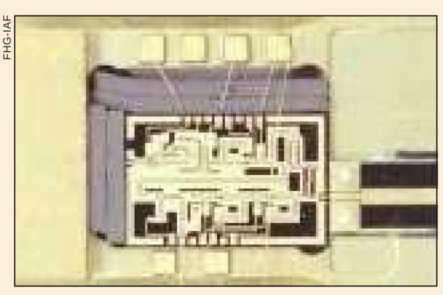
KUNSTSTOFF

Radar für Hohlkörper

Hohlräume in Kunststoffbauteilen wie etwa Brauseköpfen oder Koffergriffen dienen der Funktion oder sparen Gewicht. Ihre Fertigung erfordert die genaue Platzierung einer Gasblase: Die heiße Schmelze wird in eine Form gespritzt, dann Stickstoff oder Edelgas eingeblasen. Sie drücken die Schmelze an die Wandung, wo sie abkühlt.

Dieser Prozess lässt sich nicht so exakt steuern wie gewünscht: Lage und Form des entstehenden Hohlraums können variieren und somit Funktion und Haltbarkeit des Bauteils beeinträchtigen. Bei Schalthebeln oder Pedalen im Fahrzeug ist das nicht akzeptabel, deshalb werden solche Produkte bislang mit aufwändiger Röntgentechnik oder Ultraschall „durchleuchtet“.

Eine Alternative entwickeln mehrere Fraunhofer-Institute im Verbund: Ein nur wenige Quadratmillimeter großer Radarsensor erzeugt Mikrowellen, die über Wellenleiter in das Formwerkzeug gelangen. Der Sensor empfängt auch die reflektierten Signale, die sich deutlich unterscheiden, je nachdem, ob sie von Kunststoff oder einer Gasblase zurückgeworfen wurden. Ein Problem war die Auslegung des „Mikrowellenfensters“ in der Wandung des Formwerkzeugs, das für die Wellen durchlässig ist, die Schmelze zurückhält und ihre hohe Temperatur verträgt. Nicht weniger schwierig war es, die stark verrauschten Signale aufzubereiten. Bis das System industriell eingesetzt werden kann, sind noch einige Fragen zu klären. So verstehen die Wissenschaftler noch nicht, warum Kunststoffe, die sich in ihren Mikrowelleneigenschaften kaum unterscheiden, bei der Gasblasenausbildung sehr verschiedene Signalverläufe zeigen.



FHG-IAF

Oszillator, Verstärker, Mischer und Koppler auf winzigem Radar-Chip

URS Universal Robot Systems GmbH

Chirurgen aus Stahl

Medizinroboter zittern nicht und arbeiten auf wenige hundertstel Millimeter genau. Rund 200 dieser Maschinen assistieren weltweit Chirurgen bei der Operation. So erleichtern Roboter den Einsatz einer Hüftgelenksprothese nicht nur, sie verkürzen auch die Rehabilitationsphase: Die Passungen, die sie in den Oberschenkelknochen fräsen, sind so exakt, dass die frisch platzierte Prothese und der Knochen etwa dreimal mehr Kontakt haben, als dies selbst ein erfahrener Operateur schafft. Der Patient kann sein neues, via Roboter eingesetztes Hüftgelenk sofort voll belasten; Knochen und Prothese wachsen leichter vollständig zusammen.

URS UNIVERSAL ROBOT SYSTEMS

Der Medizinroboter URS Evolution 1 besteht aus Steuerungseinheit, Auslegerarm und Präzisionskinematik. Damit arbeitet er wesentlich zielgenauer als herkömmliche Industrieroboter.

Auch in der Neurochirurgie sollen Medizinroboter künftig vermehrt zum Einsatz kommen. Einer von ihnen ist der URS Evolution 1 des Schweriner Unternehmens URS Universal Robot Systems. Im Juli dieses Jahres assistierte er an der Neurochirurgischen Universitätsklinik Frankfurt am Main erstmals bei einer Hirnoperation. Seine Aufgabe: Ein Endoskop in die Hirnventrikel einer an Hydrozephalus (Wasserkopf) leidenden Patientin einzuführen. Der Operateur steuerte diesen Vorgang in Echtzeit über einen Joystick; einer Bewegung von einem Zentimeter entsprachen dabei zwei zehntel Millimeter am Endoskop. Am Zielort angekommen, hielt die Maschine das Endoskop regungslos in Position, und der Chirurg konnte durch die nur 0,8 Millimeter großen Arbeitskanäle des Endoskops winzige Instrumente einführen, Membranen durchstoßen, Gehirn-Flüssigkeit ableiten und auf diese Weise den Hirndruck senken.

Das Konzept und ein erster Prototyp der Maschine entstanden bereits 1997 im „ThinkTank“ des Fraunhofer-Instituts IPA in Stuttgart. Einige Mitarbeiter gründeten 1998 die Firma URS, die den Roboter zu einem marktfähigen Produkt weiterentwickelte. Heute umfasst der Evolution 1 drei Hauptkomponenten: eine Steuereinheit im Gerätekorpus, einen Auslegerarm zur Vorpositionierung und die eigentliche Positionierungseinheit mit Instrumentenhalter. Sie besitzt sechs individuell steuerbare Teleskopbeine, von denen sich jedes um wenige zehntel Millimeter bis maximal fünf Zentimeter aus der Neutralstellung ein- oder ausfahren lässt. Die tellerförmige Basisplatte dieses Hexapoden und damit auch das am Halter starr befestigte Instrument werden durch die Gesamtbewegung wesentlich zielgenauer ausgerichtet, als es herkömmliche Industrieroboter vermögen. Da die Beine des Hexapoden parallel angeordnet sind, summieren sich die Bewegungsfehler der einzelnen Achsen nicht. Deshalb lassen sich selbst vergleichsweise schwere chirurgische Instrumente und Geräte bis 15 Kilogramm auf wenige hundertstel Millimeter exakt bewegen. Anders bei Industrierobotern: Sie haben nur einen Arm mit mehreren in

FRAUNHOFER-INSTITUT IPA



Mit der Hexapod-Kinematik (hier ein Prototyp) lassen sich Instrumente auf hundertstel Millimeter genau ins Gehirn einführen. Der Kopf des Patienten ist in einer Klemme fixiert.

Serie geschalteten Gelenken und Achsen und damit einen weitaus größeren Gesamt-Bewegungsfehler.

Die Kinematik des Medizinroboters von URS verfügt zudem über drei „passive“, also elektrisch nicht steuerbare Teleskopbeine, um Bewegungen zu registrieren. Dazu dienen spezielle Sensoren, die permanent und in Echtzeit Messdaten über die Auslenkung der (teleskopischen) Achsen und damit ihrer Lage im Raum an die Robotersteuerung senden. Anhand dieser Daten kann die Position des medizinischen Instrumentes und seine Bewegung im Raum berechnet werden. Alle fünf tausendstel Sekunden vergleicht



URS UNIVERSAL ROBOT SYSTEMS

Roboter im Test: Ärzte verschrauben Dummy-Wirbelkörper unter OP-Bedingungen.

ein Prozessor Soll- und Ist-Wert, also die via Joystick geplante Bewegung und die aus den Sensordaten errechnete. Weichen diese voneinander ab, so reagiert das Betriebssystem innerhalb von fünf tausendstel Sekunden, warnt den Operateur und stoppt den Roboter.

Derzeit bereiten URS und die Neurochirurgische Universitätsklinik Frankfurt am Main weitere Einsätze vor. Noch in diesem Jahr soll URS Evolution 1 bei Operationen an der Wirbelsäule assistieren, bei denen zwei oder mehr Wirbelkörper über starre Titanstangen miteinander verbunden und somit stabilisiert werden. Hierbei soll der Roboter Schrauben exakt in den Wirbelkörpern positionieren, ohne Rückenmark, Nerven und wichtige Blutgefäße zu verletzen. ■

Das Unternehmen im Profil

Die Ende 1998 gegründete URS Universal Robot Systems GmbH, Schwerin, ist ein Spin-off-Unternehmen des Stuttgarter Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA). Das Unternehmen entwickelte den von IPA-Wissenschaftlern entworfenen Prototypen eines Medizinroboters zu einem marktfähigen Produkt weiter, dem URS Evolution 1. Inzwischen wurden bereits drei der rund 400 000 Euro teuren Maschinen an größere Kliniken verkauft. Im Mai 2001 übernahm URS die ortoMaquet GmbH, Rastatt, die den Medizinroboter CASPAR (Computer Assisted Surgical Planning And Robotics) entwickelte. Mit Hilfe von CASPAR wurden bislang rund 3600 künstliche Hüft- und 200 Kniegelenke implantiert sowie etwa 400 Kreuzbandoperationen durchgeführt. Kooperationspartner der derzeit 55 Mitarbeiter starken URS sind auf klinischer Seite beispielsweise die Neurochirurgische Klinik der Universität Erlangen-Nürnberg, die Klinik und Poliklinik für Neurochirurgie der Universität Frankfurt am Main sowie die Neurochirurgische Universitätsklinik Freiburg, auf industrieller Seite unter anderem die Medtronic Sofamor Danek (Hersteller von Navigationssystemen) und die VAMP GmbH (Hersteller von 3D-Planungssoftware).

Weitere Informationen unter www.medicalrobots.com

BIOLOGISCHE WAFFEN

Milzbrand: Nur der Anfang?

Die Anschläge mit Anthrax-Erregern haben ein lange vernachlässigtes Problem öffentlich gemacht: die Kontrolle biologischer Waffen. Sie wird umso dringlicher, je mehr sich in der Biologie neue Techniken durchsetzen.

Von Kathryn Nixdorff, Dagmar Schilling und Mark Hotz

Bis vor kurzem war Anthrax, so der medizinische Fachbegriff für Milzbrand, nur wenigen Spezialisten geläufig. Das hat sich auf dramatische Weise geändert. Die Anschläge mit verseuchten Briefen haben die Befürchtung hervorgerufen, biologische Waffen könnten gezielt für umfassende Terrorattacken eingesetzt werden.

Der Milzbrandbazillus, *Bacillus anthracis*, gilt seit langem als möglicher Kandidat für eine Kriegführung mit biologischen Substanzen. Die Krankheit tritt gewöhnlich nur bei Tieren auf, vor allem bei Wiederkäuern und Schweinen. Menschen sind nur in Ausnahmefällen betroffen, und die Erkrankten gehören meist Berufsgruppen an, die mit Tierkörpern und -häuten in Berührung kommen. Normalerweise wird die Krankheit nicht von Mensch zu Mensch übertragen.

Was den Erreger als biologische Waffe interessant erscheinen lässt, ist seine hohe Ansteckungsfähigkeit und seine vergleichsweise kurze Inkubationszeit von einigen Stunden bis wenigen Tagen. Eine der markantesten Eigenschaften dieses Bakteriums ist seine Fähigkeit, so genannte Endosporen zu bilden. Eine solche Dauer-Ruheform gestattet es dem Erreger, lange Zeitphasen unter ungünstigen Bedingungen zu überleben; in dieser Form ist er weniger empfindlich gegenüber Hitze, Austrocknung oder Desinfektionsmitteln. Diese Eigenschaft erleichtert die Produktion, Lagerung und Verbreitung des Erregers als biologische Waffe. Zudem sind es die Endosporen und nicht die Bakterien, die infektiös wirken.

Eine Infektion mit dem Milzbranderreger kann über drei verschiedene Wege erfolgen: über direkten Kontakt mit der Haut, über das Einatmen der Endosporen oder durch den Verzehr von infiziertem Fleisch. Hautmilzbrand ist die mildeste Krankheitsform; sie kann erfolgreich mit Antibiotika behandelt werden. Lungen- und Darmmilzbrand hingegen zeigen einen schweren Krankheitsverlauf mit einer Sterblichkeitsrate zwischen zwanzig und achtzig Prozent. Sobald die ersten Symptome auftreten, ist eine Antibiotikatherapie meist nicht mehr wirksam.

Glücklicherweise ist der Einsatz von Milzbrandsporen als Waffe nicht einfach. Um eine größere Zahl von Menschen zu infizieren, wären erhebliches Fachwissen und ein gut ausgestattetes Labor erforderlich: Ein hoch virulenter Stamm des Bakteriums müsste in größeren Mengen so gezüchtet werden, dass er Endosporen bildet und seine Virulenz behält.

Die Sporen müssten sodann getrocknet werden; dabei kleben sie zusammen und bilden Klumpen. Für einen effizienten Einsatz müssten diese Klumpen mit Zusatzstoffen und klein gemahlen in einer Partikelgröße zwischen ein und fünf Mikrometer Durchmesser ausgebracht werden. Denn nur als solche in der Luft fein verteilte Partikel werden sie tief in die Lungenbläschen eingeatmet, wo sie durch bestimmte Zellen, die Makrophagen, aufgenommen und zu den Mittelfell-Lymphgeweben transportiert werden. Dort keimen die Endosporen aus. Die Bakterien vermehren sich danach stark und produzieren ein Toxin mit mehreren Komponenten, das eine starke Ansammlung von Flüssigkeit sowie Blutungen im Mittelfellgewebe verursacht. Die Bakterien gelangen auch in die Blutbahn, und in einigen Fällen kann eine Hirnhautentzündung ausgelöst werden.

Doch selbst dann, wenn die Erreger in der effektivsten Partikelgröße ausgebracht werden, erschweren noch andere Faktoren einen wirkungsvollen Einsatz. So spielen die Wetterverhältnisse und UV-Strahlung eine entscheidende Rolle. Das zeigte sich zum Beispiel beim Versuch der Aum-Shinrikyo-Sekte in Japan, Milzbranderreger als Terrorwaffe einzusetzen. Obwohl die Gruppe über eine gute Organisation und hohe Expertise verfügte, gelang es ihr nicht, die Krankheit zum Ausbruch zu bringen.

Demnach ist ein größerer Einsatz mit biologischen Waffen durch Terrorgruppen zwar unwahrscheinlich, aber doch nicht ausgeschlossen – zumal das Spektrum möglicher Agenzien sehr breit ist.

Die Bio-Waffen-Konvention

Die Ereignisse der letzten Wochen haben unverhofft wieder die Frage aufgeworfen, wie die internationale Gemeinschaft mit dem Problem der Bio-Waffen umgeht und welche Maßnahmen zu ihrer Kontrolle getroffen werden.

Seit 1975 ist ein internationales Übereinkommen in Kraft, das die Problematik eigentlich eindeutig regelt: die Bio-Waffen-Konvention, der bisher 143 Staaten beigetreten sind. Mit ihren umfassend formulierten Verboten war diese Konvention das erste Abkommen, das eine ganze Klasse von Massenvernichtungswaffen komplett verbietet. Allerdings ist eine Beschäftigung mit diesen

Bio-Waffen-Konvention

Artikel 1

Jeder Vertragsstaat dieses Übereinkommens verpflichtet sich,

1. mikrobiologische oder andere biologische Agenzien oder Toxine, ungeachtet ihres Ursprungs oder ihrer Herstellungsmethode, von Arten und in Mengen, die nicht durch Vorbeugungs-, Schutz- oder sonstige friedliche Zwecke gerechtfertigt sind, sowie

2. Waffen, Ausrüstungen oder Einsatzmittel, die für die Verwendung solcher Agenzien oder Toxine für feindselige Zwecke oder in einem bewaffneten Konflikt bestimmt sind,

niemals und unter keinen Umständen zu entwickeln, herzustellen, zu lagern oder in anderer Weise zu erwerben oder zurückzubehalten.

Artikel 1 der Bio-Waffen-Konvention von 1972 verbietet jegliche nicht-friedliche Aktivität mit biologischen Erregern und Toxinen.

biologischen Agenzien für Zwecke der Vorbeugung oder des Schutzes erlaubt. Das heißt: Pathogene, also krankheitserregende Mikroorganismen dürfen gezüchtet werden, wenn man sie für die Entwicklung von Impfstoffen, Therapeutika oder Diagnostika braucht. Es kommt demnach auf die Absicht an.

Der Schwachpunkt der Bio-Waffen-Konvention ist denn auch, dass sie keine Maßnahmen enthält, mit denen sich die Vertragstreue überprüfen ließe. Die Verhandlungspartner hatten damals darauf verzichtet, solche Verifikationsmaßnahmen zu definieren, und zwar aus zweierlei Gründen: Eine Übereinkunft wäre sehr schwierig zu erlangen gewesen, und zudem bestand die – irrige – Auffassung, der militärische Nutzen biologischer Waffen sei begrenzt. So sieht die Konvention lediglich vor, bei einer vermuteten Vertragsverletzung eine Beschwerde beim Sicherheitsrat der Vereinten Nationen vorzubringen. Falls Beweise vorliegen, kann eine Prüfung der Angelegenheit gefordert werden. Das weitere Prozedere für eine Untersuchung wird indes nicht näher definiert.

Zwischenzeitlich hat sich die Ansicht über die mögliche militärische Nutzung biologischer Waffen gewandelt. Nach dem Golfkrieg 1990/91 haben Inspektionen der United Nations Special Commission (UNSCOM) offenbart, dass der Irak ein bedeutendes Bio-Waffen-Programm verfolgt, in dessen Rahmen mehrere pathogene biologische Agenzien erforscht werden. 1990 begann der Irak mit der Produktion von erheblichen Mengen an Milzbrand-Endosporen, Botulinus-Toxin und Aflatoxin. Die Wirksamkeit dieser Agenzien wurde für verschiedene Verbreitungsmethoden getestet, sei es durch Versprühen als Aerosol oder durch Ausbringen mittels Bomben oder Raketen.

Im Jahr 1992 hat der damalige russische Präsident Boris Jelzin eingestanden, dass die frühere Sowjetunion von 1946 bis März 1992 ein offensives biologisches Waffenprogramm besaß. Diese Aktivitäten waren äußerst umfangreich, wie einige Überläufer berichteten – darunter Wladimir Pasetschnik, der Direktor des Instituts für Hochreine Biopräparate in Leningrad, sowie Ken Alibek, der Stellvertretende Direktor des russischen *Biopreparat*-Komplexes.

Die Geheimdienste der USA vermuten, dass über diese bewiesenen Fälle hinaus mindestens zehn weitere Staaten ein offensives Entwicklungsprogramm betreiben. Die Bio-Waffen-Konvention wird also wohl erst dann greifen können, wenn sie gestärkt und durch effiziente Verifikationsmaßnahmen ergänzt wird.



AP / SASCHA FROMM / THÜRINGER ALLGEMEINE

Keine Übung, sondern (fast) der Ernstfall: Feuerwehrmänner reinigen nach einem Einsatz in Gotha am 3. November 2001 ihre Schutzanzüge, nachdem sie eine verdächtige Substanz geborgen haben. Dauerte es bisher mehrere Tage, bis der Milzbranderreger zweifelsfrei nachgewiesen werden konnte, verspricht ein neuer Schnelltest Aufklärung innerhalb von einer Stunde.

Genau darum bemüht sich seit 1995 eine Ad-hoc-Gruppe in Genf, die allen Vertragsstaaten offen steht. Die konkreten Vorschläge, die diese Gruppe unterbreitet, sollen schließlich in einem rechtsverbindlichen Überprüfungsprotokoll der Konvention hinzugefügt werden. In der jetzt vorliegenden vorläufigen Version des Protokolls sind mehrere Hauptelemente für die Verifikationsmaßnahmen vorgesehen. So sollen Erklärungen der Vertragsstaaten über ihre jeweiligen Aktivitäten und Einrichtungen, die für biologische Waffen relevant sind, grundlegende Informationen liefern und für die erforderliche Transparenz sorgen. Zur Überprüfung dieser Deklarationen sind stichprobenartig „Routinebesuche“ in den Einrichtungen vorgesehen. Treten Diskrepanzen auf, werden „Klarstellungsbesuche“ durchgeführt. Im Falle einer vermuteten Vertragsuntreue werden entweder durch Konsultationen und Austausch die Probleme gelöst, oder – bei komplizierteren Fällen – „Verdachtsinspektionen“ der Einrichtung eingeleitet. ▶

Während der Verhandlungsrunden der Ad-hoc-Gruppe letzten Sommer sollte eigentlich eine Vereinbarung über den vorliegenden Kompromisstext erzielt werden. Die USA, die seit dem Amtsantritt von Präsident George W. Bush ihre gesamte Rüstungskontrollpolitik neu bewertet haben, wiesen jedoch sowohl den Kompromisstext als auch den gesamten Prozess der Verhandlungen über das Protokoll zurück. Dies bedeutete einen herben Rückschlag für die Genfer Verhandlungen, sodass nun völlig ungewiss ist, wie die Bio-Waffen-Konvention gestärkt werden kann.

Die USA begründeten ihre Ablehnung damit, die vorgesehenen Maßnahmen zur Überprüfung der Vertragstreue seien nicht effizient genug. Zudem sei das Verifikationsregime nicht mit dem nationalen Interesse der USA vereinbar. Eine solche Erklärung erscheint jedoch nicht plausibel, denn die USA hatten im Laufe der Verhandlungen selbst zur Abschwächung einiger Maßnahmen beigetragen. Und der Protokollentwurf schützt vertrauliche Informationen strenger als das vergleichbare Abkommen über chemische Waffen und ist weniger „intrusiv“ als dieses.

Der Kurswechsel der US-Regierung geht einher mit der Offenbarung einiger geheimer Aktivitäten im Verteidigungsbereich. Zum einen wurde eine Fabrik, die für die Produktion größerer Mengen biologischer Waffen geeignet ist, gebaut – angeblich um zu prüfen, wie leicht eine solche Anlage aus kommerziell verfügbaren Materialien eingerichtet werden könnte. Immerhin züchtete diese Fabrik nur harmlose Mikroorganismen als Simulantien für Bio-Waffen. Ferner plant das Pentagon, die Versuche einer russischen Forschergruppe nachzuvollziehen. Jene Wissenschaftler hatten *Bacillus anthracis* gentechnisch so verändert, dass die herkömmliche Milzbrand-Impfung nicht gegen eine Infektion mit diesem manipulierten Stamm schützt. Die USA möchten mit diesen Versuchen einen Impfstoff gegen die veränderten Erreger entwickeln. Nach den Bestimmungen der Bio-Waffen-Konvention sind diese Experimente erlaubt, da sie mit der Absicht der Verteidigung durchgeführt werden. Umstritten ist jedoch, ob diese Aussage auch auf eine weitere Aktivität der US-Regierung zutrifft: Der Geheimdienst CIA hat eine von den Sowjets konstruierte Bombe nachgebaut, mit Simulantien gefüllt und getestet. Einige Kritiker verweisen darauf, dass solche Versuche nicht mehr durch die Bio-Waffen-Konvention gedeckt sind oder zumindest gegen ihren Geist verstoßen.

Dies alles zusammengenommen erweckt den Verdacht, dass die US-Regierung ihre Aktivitäten im Zusammenhang mit der „defensiven“ Erforschung biologischer Waffen nicht kontrolliert haben möchte. Andere Staaten könnten sich dadurch ermutigt fühlen, ebenfalls geheime Forschungsarbeiten zu beginnen. Ohne das Überprüfungsprotokoll gibt es keine Handhabe, solche Aktivitäten zu kontrollieren. Dies ist ein unbefriedigender Zustand, der auch dem Missbrauch durch Terroristen Vorschub leistet, denn diese wären auf eine gewisse Unterstützung oder zumindest Billigung von staatlicher Seite angewiesen.

Militärisches Potenzial der Biotechnologie

Die Bio-Waffen-Konvention steht jedoch auch neuen Herausforderungen gegenüber, die nicht von politischer Seite kommen, sondern unmittelbar aus der Forschung. Im Laufe der letzten drei Jahrzehnte haben molekularbiologische und gentechnische Verfahren die Biotechnologie revolutioniert. Diese Techniken haben große Bedeutung für so unterschiedliche Bereiche wie etwa die Medizin und die Lebensmittelkontrolle. Sie können auch zur Verbesserung des Schutzes gegen Infektionskrankheiten und zur Verifikation der Bio-Waffen-Konvention beitragen. Andererseits bieten sie ein erhebliches Missbrauchspotenzial für die Entwicklung und Herstellung biologischer Waffen.

Das erste erfolgreiche gentechnische Experiment wurde bereits 1973, also kurz nach Abschluss der Verhandlungen über die Bio-Waffen-Konvention durchgeführt: Eine Arbeitsgruppe um Herbert Boyer und Stanley Cohen an der Universität Stanford (Kalifornien) entwickelte die erste praktikable Methode, fremde

ORIGINALZEICHNUNG ROBERT KOCH

Der Mediziner Robert Koch erkannte stäbchenförmige Bakterien als die Erreger des Milzbrandes. Seine Originalzeichnung gibt die verschiedenen Erscheinungsbilder des *Bacillus anthracis* wieder:

Fig. 1: aus dem Blut eines Meerschweinchens, zum Teil mit beginnender Querteilung, a) weiße, b) rote Blutkörperchen
Fig. 2: aus der Milz einer Maus in Fäden auswachsend
Fig. 3: gleiches Präparat nach zehnstündiger Kultur; die Bazillen sind in lange Fäden ausgewachsen
Fig. 4: gleiches Präparat nach 24-stündiger Kultur; in den Fäden haben sich länglich runde Sporen perlschnurartig gebildet, a) einzelne Fäden lösen sich auf und setzen b) Sporen frei
Fig. 5: Keimung der Sporen
Fig. 6: Kultur von Milzbrandbazillen im Objektträger
Fig. 7: mit Milzbrandbazillen einer Maus infizierte Rückenhaut eines Frosches
Die Figuren 8–11 stellen Heubazillen dar.

Gene in das Erbgut eines Bakteriums einzuschleusen. Damit stand zu befürchten, dass neuartige, für die Kriegführung besser geeignete Mikroorganismen hergestellt werden könnten. Als Folge intensivierten mehrere Staaten ihre Forschung im Bereich der biologischen Abwehr. Die Biotechnologie ist seitdem ein zentraler Punkt in der Debatte über Verifikationsmaßnahmen für die Bio-Waffen-Konvention.

Als relevant für die Herstellung von biologischen Waffen gelten vier Kategorien der Manipulation oder Modifikation von Mikroorganismen:

- die Übertragung von Antibiotika-Resistenzen,
- die Modifikation der vom Immunsystem erkannten Antigen-Domänen von Mikroben,
- die Modifikation der Stabilität der Organismen gegenüber ihrer Umwelt sowie
- die Übertragung pathogener Eigenschaften.

Alle vier Eingriffe sind heutzutage möglich und werden auch durchgeführt. Die intensivsten Forschungen im Bereich der infektiösen Krankheitserreger zielen darauf ab, die Mechanismen ihrer pathogenen Wirkungen mit den Methoden der modernen Molekularbiologie aufzuklären. Diese Erkenntnisse lassen sich dann dazu nutzen, Infektionskrankheiten effektiver zu bekämpfen. Eine Vielzahl von Informationen wurde erst im letzten Jahrzehnt gewonnen. Es zeigte sich dabei immer deutlicher, dass verschiedene Faktoren zum Ausbrechen einer Erkrankung beitragen und kein System bis jetzt in seiner Gesamtheit verstanden wird. Die Produktion eines Toxins zum Beispiel mag für den krankmachenden Prozess ausschlaggebend sein; die Substanz wird jedoch nur zusammen mit anderen, weniger gut definierten Faktoren wirksam, die das Eindringen der Mikroorganismen in den Wirt erlauben. Dass eine Manipulation durchgeführt werden kann, sagt also noch nichts darüber aus, ob diese die Wirkung von biologischen Waffen steigern kann.

Ein Beispiel mag diesen Sachverhalt verdeutlichen. 1990 übertrugen Jacek Bielecki und seine Kollegen von der Universität von Pennsylvania in Philadelphia ein Toxin-Gen von dem pathogenen Bakterium *Listeria monocytogenes* in das relativ harmlose Bodenbakterium *Bacillus subtilis*. Der so manipulierte Bazillus konnte zwar das Toxin in Kultur produzieren, wirkte jedoch nicht infektiös, wenn er in Mäuse injiziert wurde. Weitere ähnliche Versuche unterstützen die These, dass es äußerst schwierig ist, einen harmlosen Mikroorganismus durch die Übertragung von Pathogenitätsmerkmalen virulent zu machen.

Andererseits konnte Stanley Falkow von der Universität Stanford in einem anderen Experiment die Virulenz des schwach pathogenen Bakteriums *Bordatella parapertussis* durch die Übertragung eines Toxin-Gens von *Bordatella pertussis*, dem Verursacher von Keuchhusten, verstärken. In einem weiteren Fall gelang es Andrej P. Pomeranzew vom Staatlichen Forschungszentrum für Angewandte Mikrobiologie in Obolensk bei Moskau, das hämolytische Toxin von *Bacillus cereus* (einem gewöhnlich nicht-pathogenen Bodenbakterium, von dem einige Stämme jedoch eine Lebensmittelvergiftung verursachen können) in einen virulenten Stamm von *Bacillus anthracis* zu übertragen. Die Forscher wollten mit diesem gentechnischen Eingriff angeblich untersuchen, wie sich die immunogenen (Immunantwort-induzierenden) Eigenschaften verändern. Das Resultat war jedoch unerwartet: Tiere, die eine Impfung gegen Milzbrand bekommen hatten, waren gegen eine Infektion mit diesem manipulierten Stamm von *Bacillus anthracis* nicht geschützt.

Die potenziellen Risiken solcher Forschungsarbeiten werden im Bereich der Immunologie besonders deutlich. Die Experimente einer Wissenschaftlergruppe um Ronald J. Jackson und Ian A. Ramshaw von der Universität Canberra haben erhebliche Aufregung verursacht. Die australischen Forscher versuchten mit einem Trick, ein Trächtigwerden von Mäusen zu verhindern. Sie bauten in das Erbgut eines harmlosen Mäuse-Pockenvirus zwei Gene ein: eines für das „Immunhormon“ Interleukin 4 (IL-4) und ein anderes für ein Protein, das auf den Eizellen vorkommt. Nach der Infektion von Mäusen mit diesem Virus sollten das Eizellenprotein produziert und Antikörper dagegen hervorgerufen werden. Zugleich sollte durch das zusätzlich erzeugte IL-4 die ▶

Am Rande

Hahn am Körbchen

Ein mutiges Bekenntnis zur Sinnlichkeit in der Wissenschaft

Wer forscht, sündigt nicht? Nun, im Allgemeinen ja, der Wissenschaftler sperrt Eros aus dem Labor, denn im hormonfreien Raum denkt es sich objektiver. Sinn und Sinnlichkeit zu vereinen, scheint so sinnvoll wie die Quadratur des Kreises. Doch dass in manchem Forscher auch ein Mann steckt, enthüllte jüngst eine Presseinformation der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen: „Passende BHs dank berührungsloser Messverfahren.“

„Mit 3-D-Ganzkörper-Laserscannern ermittelten Forscher des Bekleidungsphysiologischen Instituts Hohenstein in Bönnigheim ... die aktuellen Körperdaten von Frauen für die Bekleidungsindustrie.“ Hätten dies Proust oder Rilke schöner sagen können? Im Innersten berührt, erfährt der Leser, warum die Hohenheimer Forscher 1500 Damen an die Unterbekleidung gingen: „Aus dieser ... Reihenvermessung wurden Körpermaß- und Marktanteiltabellen abgeleitet und Konstruktionsgrundlagen für die Entwicklung von Miederbekleidung erarbeitet.“

Bei aller Sinnlichkeit schwingt auch ein Hauch von Wehmut mit, erlaubte der wissenschaftliche Fortschritt doch nur das berührungslose Scannen der Konturen mit dem Laser. Denn „im Vergleich zur manuellen Maßerfassung“ hatten die Herren so „in kürzerer Zeit mehr Maße und Haltungsdaten bei konstanter Messgenauigkeit“ in der Hand. Und so kam denn auch die Forschung nicht zu kurz, bestätigten die Daten doch „bereits früher festgestellte Tendenzen hinsichtlich der Zunahme von Körperlänge und Brustumfang bei der weiblichen Bevölkerung“. Auch Neues gab es zu vermelden, und so wurde die BH-Studie zur runden Sache: Nahezu 35 Prozent der Frauen tragen zu kleine Büstenhalter; mehr als die Hälfte kannte ihre Körbchengröße nicht. Dank 3D-Laserscanning wird damit nun Schluss sein.

Mehr davon, möchte man(n) der Scientific Community zurufen. Und: Nehmt Euch ein Beispiel, denn es ist zu Eurem Vorteil. Zwar kommt das kühle Abstraktionsniveau heutiger Wissenschaft der Erkenntnis zugute, doch vergrault es auch den Laien. Vielleicht steht dem *public understanding of science* die Wissenschaft selbst im Wege. Denn sie hat verloren, was für ihre Begründer noch selbstverständlich war – eine sinnliche Erfahrung der Welt.

Klaus-Dieter Linsmeier

Der Autor ist Redakteur bei Spektrum der Wissenschaft.

Herstellung von Antikörpern gegen das Eizellenprotein verstärkt werden.

Das Cytokin IL-4 verhinderte jedoch gleichzeitig die Aktivität einer bestimmten Klasse von Immunzellen, den Killerzellen, deren Aufgabe es ist, virusinfizierte Zellen zu attackieren und zu töten. Dafür brauchen sie aber die Unterstützung so genannter T-Helfer-Lymphocyten, die aktivierende Cytokine liefern und damit Killerzellen zur Vermehrung und Differenzierung treiben. Erst dann können diese das Virus bekämpfen. Weil im hier beschriebenen Experiment IL-4 die Entwicklung der Helferzellen unterdrückte, konnten die Killerzellen nicht aktiviert werden. Das Immunsystem der Mäuse war deshalb außer Stande, die Infektion mit dem Maus-Pockenvirus zu bewältigen. Die Mäuse starben, obwohl das Virus für sie normalerweise nicht gefährlich ist. Das Einfügen des IL-4-Gens hatte also aus einem harmlosen Erreger ein „Killervirus“ erzeugt, das auch in resistenten Mäusen das Immunsystem lahm legte.

Ethnische Waffen

Weitere Herausforderungen erwachsen der Bio-Waffen-Konvention aus der Genomforschung. Bereits bei über fünfzig Bakterien und zahlreichen Viren ist das Genom, also die komplette Nucleotidsequenz ihres Erbmoleküls, entziffert worden. Mehr als hundert weitere Genome von Mikroorganismen werden gegenwärtig sequenziert.

Auch das Erbgut des Menschen wurde bereits mit den modernen Sequenzierungstechniken entziffert. Dieses Human-Genom-Projekt, Ende der 80er Jahre vom Bundesgesundheitszentrum der USA initiiert, soll einen Einblick in die Organisation und Funktion des menschlichen genetischen Materials liefern. So erhofft man sich auch Erkenntnisse über Erbkrankheiten sowie über die Mechanismen der Krebsentstehung.

Mehrere Aspekte des Human-Genom-Projekts werden jedoch kontrovers diskutiert, so zum Beispiel die mögliche Kommerzialisierung von genetischen Informationen, die aus den Sequenzen gewonnen werden. Hinsichtlich eines möglichen Missbrauchs rückt insbesondere das Vorhaben ins Blickfeld, mit dem die genetische Verschiedenheit humaner Populationen aufgeklärt werden soll. Die Bedenken reichen weit über die nahe liegenden Befürchtungen wie Rassismus, Ausbeutung und kultureller Imperialismus hinaus: Erstmals erscheinen damit ethnische Waffen möglich, die gezielt gegen Untergruppen der Bevölkerung eingesetzt werden können.

Zur Zeit allerdings sprechen einige Argumente gegen eine Realisierung ethnischer Waffen. Mehrere Untersuchungen weisen darauf hin, dass es genetisch gesehen keine Rassen gibt: Die Unterschiede im Erbgut innerhalb von Populationsgruppen sind im Allgemeinen größer als die Unterschiede zwischen verschiedenen Populationen. Eine weitere Schwierigkeit bei der Entwicklung ethnischer Waffen ist mit der Frage der „Genfähren“ verbunden. Es wird jedoch zügig an der Verbesserung von solchen Systemen für gentherapeutische Zwecke geforscht, sodass baldige Fortschritte in diesem Bereich zu erwarten sind. Eine Überwachung derartiger Entwicklungen erscheint unbedingt erforderlich.

Seit längerem schon sind Methoden der biologischen Kriegführung bekannt, die sich selektiv gegen Pflanzen oder Tiere richten. Die Landwirtschaft, sowohl in Industrie- als auch in Entwicklungsländern, baut häufig Monokulturen von genetisch identischen Sorten an. Die Zerstörung dieser Pflanzen mit Agenzien, die zum Beispiel auf eine bestimmte Genkonstellation abzielen, würde einer Gesellschaft die Lebensgrundlagen rauben.

Bisher nur ein Gedankenspiel sind künstliche Markierungen bestimmter Populationen oder Bevölkerungsgruppen, zum Beispiel durch Immunisierung oder durch gezieltes Einschleusen neuer Gene in Zellen mittels eines Genvektors. Auf solche Weise markierte Populationen würden potenziell durch „genetische Waffen“ angreifbar sein.

Die Revolution in der Biotechnologie hat sicherlich noch nicht ihren Höhepunkt erreicht. Ein möglicher Missbrauch dieser Verfahren darf angesichts der dramatischen Folgen nicht übersehen werden. Die neuesten Berichte über die zufällige Herstellung eines „Killer-Mauspockenvirus“ betonen diese Gefahr. Es wäre Aufgabe einer vorausschauenden, präventiven Rüstungskontrolle, potenziell gefährliche Entwicklungen bereits im Forschungsstadium zu überwachen. Ferner ist es unbedingt erforderlich, die Bio-Waffen-Konvention mit einem effektiven Verifikationsprotokoll zu stärken, damit der Einsatz dieser Massenvernichtungswaffen weder für Staaten noch für Terrorgruppen möglich wird. ■

Kathryn Nixdorff *ist Professorin am Institut für Mikrobiologie und Genetik der Technischen Universität Darmstadt. Sie und ihre wissenschaftlichen Mitarbeiter* **Dr. Dagmar Schilling** *und Diplom-Biologe* **Mark Hotz** *sind in der Interdisziplinären Arbeitsgruppe Naturwissenschaft, Technik und Sicherheit (IANUS) tätig.*

SPIELTHEORIE UND TERRORISMUS

Das Täter-Opfer-Dilemma

Die Theorie der asymmetrischen Informationen lässt befürchten, dass bei Flugzeugentführungen künftig mörderische Verhaltensweisen vorherrschen werden.

Von Ivar Ekeland

Die Attentate auf das World Trade Center sind der schlagende Beweis für das eherne Gesetz, welches die *condition humaine* beherrscht: Ich sehe, was du machst, ich höre, was du sagst, aber ich weiß nicht, was du denkst. Eine Boeing 737 über Manhattan kann ein Linienflugzeug sein, das nach La Guardia unterwegs ist, aber auch eine Bombe, welche die Zwillingstürme ansteuert. Bis vor kurzem hatte man nur die erste Hypothese in Betracht gezogen, niemand beachtete die zweite. Nur die Entführer selbst kannten die Wahrheit.

Die moderne Ökonomie hat die Folgen asymmetrischer Informationen untersucht: John C. Harsanyi (der 1994 den Wirtschafts-Nobelpreis erhielt) hat eine solche Analyse auf Spiele angewandt; die diesjährigen Preisträger Joseph Stiglitz, George Akerlof und A. Michael Spence haben in ihren Arbeiten Märkte mit asymmetrischen Informationen erforscht (siehe Seite 24 in diesem Heft).

In einer Situation, an der mehrere Akteure beteiligt sind, hängen deren Handlungen ab von den Annahmen, die sie über die Absichten der anderen Beteiligten machen. Aus dieser Sicht ist das Schachspiel, wie übrigens auch alle anderen Gesellschaftsspiele, besonders einfach: Hier gibt es nämlich keinen Zweifel über die Absichten des Gegners, welcher die Partie gewinnen oder zumindest nicht verlieren will. Wird aber ein Flug-

zeug von seinem Kurs gezwungen, so ist die Situation schwieriger. Der Ausgang hängt davon ab, was die einen bezüglich der leider unbekannten Absichten der anderen vermuten.

Bis zum 11. September gingen Passagiere, Besatzung und Bodenpersonal davon aus, dass die Aggressoren soweit wie möglich Leben, insbesondere das ihrige, schonen wollen, um in den Besitz von Lösegeld zu gelangen. Deshalb ergab sich ein relativ friedliches Verhalten seitens der Opfer, das darauf abzielte, die Sicherheit des Flugzeuges möglichst nicht zu gefährden. Gehörten die Entführer zur klassischen Art, also zu jener, die etwas im Austausch bekommen wollte, so ergab sich eine informelle Übereinstimmung zwischen den Entführern und ihren Opfern auf der Basis von „Verhalte dich ruhig, und es wird dir nichts geschehen". So etwas nennt man in der Spieltheorie ein Gleichgewicht: Das ist eine Situation, in der jeder genau vorhersehen kann, was die anderen machen werden, und in der er durch sein eigenes Verhalten die Annahmen des anderen bestätigt.

Das große Verdienst von Harsanyi besteht darin, dass er als Erster erkannt hat, dass diese Analyse unzureichend ist. Will man eine menschliche Situation verstehen, so muss man die Annahmen berücksichtigen, die jeder bezüglich der Absichten der anderen hat. Und noch mehr: Auch die Ansichten, die man bezüglich der Ansichten der anderen über die eigenen Absichten hegt. Des Weiteren auch die Ansichten der anderen bezüglich der eigenen Ansichten über die Absichten der anderen und so weiter. Auf den ersten Blick erscheint dies als eine wahrhaft mathematische Idee, die viel komplizierter zu sein scheint als die Realität. Aber betrachten wir mal ein Beispiel:



JEAN-MICHEL THIRIET

Vier Flugzeuge starten; an Bord jeder dieser Maschinen befinden sich Piraten neuen Typs: Diese wollen das Flugzeug auf ein Ziel stürzen lassen. In drei der Flugzeuge gelingt es den Piraten, ihre Absichten bis zum bitteren Ende zu verheimlichen, und so ihr trauriges Anliegen zu verwirklichen. Im vierten indessen erfahren die Insassen durch ein Telefongespräch, was sie erwartet. Sie rebellieren, und das Flugzeug zerschellt am Boden, ohne seine Mission zu erfüllen.

Worin besteht der Unterschied? Wohl gemerkt ahnten die Opfer im ersten Fall nichts von ihrem Schicksal; sie verhielten sich folglich gemäß den Regeln, die gegenüber klassischen Luftpiraten Anwendung finden. Im vierten Fall hingegen wussten die Insassen, dass ihre Entführer Piraten neuen Typs waren. ▶

Nach Harsanyi ist dies aber noch nicht ausreichend: Man muss nämlich die Situation auch aus Sicht der Piraten betrachten. Im ersten Fall wussten die Piraten um die Unwissenheit der Passagiere; im letzten Fall wussten sie aber nicht um die Kenntnis der Opfer (genauer gesagt: sie wussten nicht, dass ihre Opfer wussten). Um den Unterschied zu verstehen, stellen wir uns eine dritte Situation vor: In dieser wissen die Opfer, und die Piraten wissen, dass die Opfer wissen. Dann bleibt den Piraten als einzige Reaktion, alle Passagiere zu töten, denn es gibt für diese nur die Option, die Piraten möglichst schnell außer Gefecht zu setzen.

Aber das ist nicht immer hinreichend: Man muss auch die Annahmen der Opfer bezüglich der Absichten, welche die Piraten ihnen zuschreiben, berücksichtigen. In der Tat zerfällt Fall 3 in zwei Unterfälle, sagen wir 3a und 3b. In beiden Unterfällen wissen die Opfer, und die Piraten wissen, dass ihre Opfer wissen. Im Fall 3a aber wissen die Opfer nicht, dass die Piraten wissen, dass sie wissen (etwa weil ein Passagier einen Telefonanruf erhält, von dem er glaubt, er sei seitens der Piraten unbemerkt geblieben, obwohl diese ihn bemerkt haben). Im Fall 3b wissen die Opfer, dass die Piraten wissen, dass sie wissen (etwa weil das Fernsehen an Bord die Bodenprogramme weiterhin empfangen hat, in denen der Absturz der anderen Flugzeuge als Sondermeldung gebracht wurde). Es sei dem Leser überlassen zu überlegen, welche Verhaltensweisen in diesen Fällen angezeigt sind, wobei man wissen sollte, dass diese wahrscheinlich unterschiedlich sein werden.

Kurz gesagt: Weil wir nicht in die Köpfe der anderen schauen können, sind wir stets darauf angewiesen, Hypothesen über das, was in diesen Köpfen vorgeht, aufzustellen und nach diesen zu handeln. Die anderen stellen ebenfalls ununterbrochen Hypothesen über die Vorgänge in unserem Kopf auf und handeln demgemäß. Die meisten dieser Hypothesen werden durch die Handlungen bestätigt, die sich aus ihnen vernünftigerweise ergeben: den Begriffen der Spieltheorie zufolge ein Gleichgewichtszustand. Allerdings sind diese Gleichgewichtszustände größtenteils konventionell in dem Sinne, dass sie auf unseren Hypothesen beruhen, das heißt auf unseren Annahmen, die anderen betreffend. Ändert man diese Annahmen, so ändern sich die Handlungen. So ändert sich nach und nach die ganze Struktur, bis man ein anderes Gleichgewicht erreicht.

Flugzeugentführungen werden in Zukunft nie mehr so sein wie früher. Das alte Gleichgewicht ist zerstört, weil die Opfer nie mehr die Hypothese vernachlässigen können, dass es sich um Selbstmordattentäter handelt. Schlimmer noch: Immer nach dem Prinzip „Ich sehe, was du machst, ich höre, was du sagst, aber ich weiß nicht, was du denkst“ können die Piraten, selbst wenn sie vom klassischen Geiselnehmertyp sind, ihre Opfer hiervon nicht mehr überzeugen, obwohl das im Interesse aller Beteiligten wäre! Sollte es zu neuen Flugzeugentführungen kommen, so besteht grundsätzlich die Gefahr, dass sie blutig verlaufen. ■

Ivar Ekeland *ist Professor am Institut Finance Dauphine an der Universität Paris-Dauphine.*

„AUSGEZEICHNET“

LAUTENSCHLÄGER-FORSCHUNGSPREIS

Urknall im Labor

Die Universität Heidelberg vergibt in diesem Jahr erstmals den neu gestifteten „Lautenschläger-Forschungspreis“, einen der am höchsten dotierten Preise in Deutschland, die zweckgebunden für Forschung verwendet werden sollen. Preisträgerin ist Johanna Stachel, Professorin für Physik an der Universität Heidelberg und Direktorin des Physikalischen Instituts.

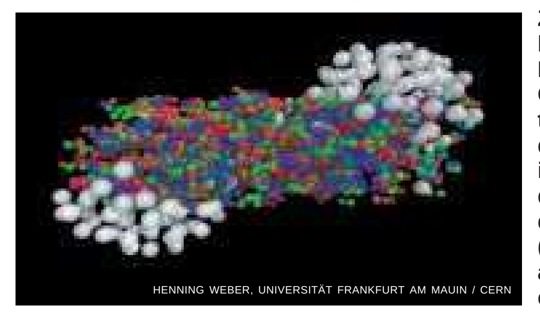
Forschungsgebiet von Johanna Stachel ist die Hochenergie-Kernphysik. Sie versucht, die Struktur und die Eigenschaften elementarer Materie bei extrem hohen Dichten und Energien aufzuklären. Unter solchen außergewöhnlichen Bedingungen können sich die Bausteine der Atomkerne, die Protonen und Neutronen, auflösen und einen neuen Materiezustand bilden, das so genannte Quark-Gluon-Plasma. Einst war unser gesamtes Universum solch ein ultradichter, extrem heißer Brei aus freien Quarks und deren Klebeteilchen, den Gluonen: in den ersten millionstel Sekunden nach dem Urknall, als die gesamte Energie des heutigen Kosmos in einem winzigen Raumbereich konzentriert war. Ein Quark-Gluon-Plasma kann möglicherweise auch heute noch in Supernova-Explosionen entstehen, wenn das Innere eines massereichen Sterns zu einem Neutronenstern kollabiert.


ROTHE

Johanna Stachel

Johanna Stachel gehört einer großen internationalen Wissenschaftlergruppe an, die ein Quark-Gluon-Plasma durch die Kollision von schweren Atomkernen in Teilchenbeschleunigern erzeugen und genauer untersuchen will. Am Europäischen Laboratorium für Teilchenphysik Cern in der Nähe von Genf ist sie an Experimenten beteiligt, die bereits indirekte Hinweise auf die Entstehung eines solchen „Feuerballs“ – eines Urknalls *en miniature* – lieferten. Für den neuen Beschleuniger LHC, der im Jahr 2005 am Cern in Betrieb gehen soll, plant sie mit ihrer Heidelberger Forschungsgruppe und Kollegen von der Gesellschaft für Schwerionenforschung in Darmstadt einen neuen Detektor, der die Vorgänge in einem Feuerball weiter erhellen und somit neue Erkenntnisse über diesen exotischen Materiezustand liefern soll.

Der „Lautenschläger-Forschungspreis“ ist nach seinem Stifter Manfred Lautenschläger, dem Aufsichtsratsvorsitzenden der MLP Holding AG, benannt. Der Preis wird künftig alle zwei Jahre für Spitzenleistungen in der Forschung verliehen, wobei die Förderung der internationalen wissenschaftlichen Zusammenarbeit im Vordergrund steht. Die Ausgezeichneten müssen an der Universität Heidelberg tätig sein oder an einer Institution im Ausland, die mit den Heidelberger Wissenschaftlergruppen kooperiert.


HENNING WEBER, UNIVERSITÄT FRANKFURT AM MAUIN / CERN

Zwei Bleikerne kurz nach der Kollision in einer Computersimulation: Im Innern des Teilchenbreis ist die Energiedichte so hoch, dass Quarks (farbige Kugeln) als freie Teilchen existieren können.

MATHEMATIK

Vladimir Arnold et al. (Hg.)

Mathematics: Frontiers and Perspectives

American Mathematical Society, Providence (RI) 2000. 470 Seiten, $ 39,–

Björn Engquist, Wilfried Schmid (Hg.)

Mathematics Unlimited – 2001 and Beyond

Springer, Berlin 2001. 1237 Seiten, DM 85,49

Anatole Beck, Michael N. Bleicher und Donald W. Crowe

Excursions into Mathematics
The Millennium Edition

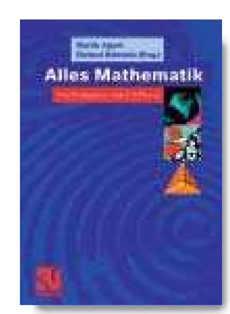
A K Peters, Natick (MA) 2000. 524 Seiten, $ 34,–

Martin Aigner und Ehrhard Behrends (Hg.)

Alles Mathematik
Von Pythagoras zum CD-Player

Vieweg, Braunschweig 2000. 296 Seiten, DM 49,–





Für die Mathematiker war das Jahr 2000, über die drei Nullen hinaus, die der ganzen Welt Anlass zum Feiern boten, ein Jubiläum besonderer Art: Genau hundert Jahre zuvor hatte ein 36-jähriger Forscher namens David Hilbert auf dem zweiten mathematischen Weltkongress in Paris eine ungewöhnliche Standortbestimmung seines Faches vorgenommen: Er legte eine Liste von 23 Problemen vor, die nach seiner Meinung die Forschung am ehesten voranbringen würden.

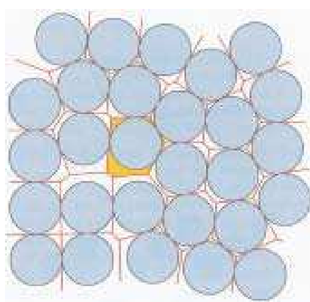
Seine Fachkollegen folgten dieser Anregung in hohem Maße, denn Hilbert war damals schon berühmt; heute gilt er als der bedeutendste Mathematiker des 20. Jahrhunderts. Einige Probleme aus der Liste sind heute noch offen, und wer eines von ihnen löst, darf mit dem Lobpreis der Fachwelt rechnen. Nicht zuletzt wegen des hundertsten Geburtstages dieser Liste ist das Jahr 2000 zum internationalen Jahr der Mathematik erklärt worden (was in Deutschland weit gehend unbemerkt blieb).

Eine Kurve, die sich tangential an gewisse Kanten eines Vielecks schmiegt (ein „Spline“), mit Zwischenstufen der Konstruktion. Aus „Shape“ von Gerald Farin in „Mathematics Unlimited“.

Natürlich ist die Versuchung groß, ein Jahrhundert später eine Standortbestimmung der Mathematik mit ähnlicher Langzeitwirkung vorzunehmen. Leider gibt es zur Zeit keinen Hilbert! Und jeden, der sich diese Rolle anmaßen wollte, würde die Häme der Kollegen treffen. Mehr noch: In den letzten hundert Jahren ist die Mathematik so reichhaltig, vielfältig und eben auch unübersichtlich geworden, dass der genialste Kopf den adlergleichen Überblick nicht erringen könnte. Also muss notgedrungen ein Kollektiv an die Stelle des einsamen Helden treten.

Vladimir Arnold, berühmt geworden unter anderem durch seine Resultate zum chaotischen Verhalten dynamischer Systeme (Spektrum der Wissenschaft 12/1994, S. 86), lud im Auftrag der International Mathematical Union eine Reihe der prominentesten Mathematiker zu einer Standortbestimmung aus ihrer jeweils persönlichen Sicht ein. Ihre Beiträge sind in dem Sammelband „Mathematics: Frontiers and Perspectives“ abgedruckt. Unter den Autoren sind ein großer Teil der letzten Fields-Medaillen-Preisträger (die Fields-Medaille ist im Prestige dem Nobelpreis vergleichbar), Andrew Wiles, der durch den Beweis der Fermat'schen Vermutung berühmt wurde, sowie die großen alten Meister Yu. I. Manin und Peter D. Lax.

Mehrere Autoren folgen einer Anregung Arnolds und legen, in aller Bescheidenheit, eine Problemliste im Stile Hilberts vor; andere geben einen eher philosophisch gehaltenen Überblick oder beschränken sich darauf, die Front ihres Spezialgebiets darzustellen.



Voronoi-Zellen einer Kreisscheibenpackung. Aus „Kugeln im Computer“ von M. Henk und G. Ziegler in „Alles Mathematik“.

Die Herausgeber von „Mathematics Unlimited“ verfolgen im Grundsatz dieselben Ziele, allerdings mit einem weit größeren Kollektiv aus nicht ganz so berühmten Autoren. Die 63 Beiträge bieten ein noch bunteres, noch vielfältigeres Bild der Mathematik, in dem die Anwendungen etwas stärker zu Wort kommen.

Es fällt schwer, einheitliche Trends auszumachen; aber offensichtlich ist: Der vor Jahren in dieser Zeitschrift (12/1993, S. 88) totgesagte mathematische Beweis lebt und gedeiht; der Computer ist selbstverständliches, aber keineswegs vorrangiges Arbeitsmittel. Unentbehrlich ist er nur zum Aufzeichnen der Ergebnisse: Beide Bände sind durchgehend mit der Spezialsoftware TeX gesetzt.

Eine Einteilung der Mathematik in Teilgebiete ist anscheinend problematisch, unergiebig oder beides. Jedenfalls haben die Herausgeber beider Bücher gar nicht erst versucht, eine inhaltliche Gliederung vorzunehmen, sondern die Beiträge schlicht alphabetisch nach den Namen der Autoren angeordnet.

Leider bestätigen beide Bände (vor allem „Mathematics Unlimited“ mit seinen fast drei Kilogramm) die allgemeine Wahrnehmung, dass Mathematik schwer ist. Mit Ausnahme einiger eher allgemeiner Betrachtungen, etwa zum Verhältnis zwischen Mathematik und Gesellschaft, sind alle Beiträge für einen Leser geschrieben, der schon ein paar Semester hinter sich hat. Aber das genügt auch schon! Wer die fachübliche Geduld aufbringt, bekommt durchwegs sorgfältig aufbereitete, nicht übermäßig spezialisierte Darstellungen. Es lohnt, auf der Suche nach einem Fachgebiet für die Diplomarbeit „Mathematics Unlimited“ durchzuackern, denn dort präsentieren sich auch etliche deutsche Autoren mit ihren Arbeitsgebieten. Fachleute werden sich beide Bände gerne ins Regal stellen, für alle Fälle: Vielleicht will man ja später einmal bequem den Stand der Knoten-, der Zahlen- oder der Kontrolltheorie von 2000 nachlesen oder interessiert sich für Twistoren und die Allgemeine Relativitätstheorie.

Und die Allgemeinheit? Was haben die Mathematiker zum Jubiläumsjahr den Nicht-Fachleuten zu bieten? Erstens gut Aufgewärmtes. „Excursions into Mathematics“, 1969 von drei Wissenschaftlern der University of Wisconsin verfasst, wurde zum Bestseller; und siehe da: Gute Mathematik ist haltbar. Die „Ausflüge“ in die elementare Geometrie und Arithmetik mussten nur an wenigen Stellen ergänzt werden – vom damals 16-jährigen Andrew Wiles konnten die Autoren beim besten Willen noch nichts wissen.

Zweitens wirklich Neues, und das ausgerechnet aus dem deutschen Sprachraum. Berliner Mathematiker bieten seit 1990 Vorträge für die Allgemeinheit über ihr Fach in der traditionsreichen Volksbildungsstätte Urania an. Das Buch „Alles Mathematik“, das eine Auswahl dieser Vorträge wiedergibt, widerlegt auf schlagende Weise die gängigen Vorurteile „zu schwer, zu trocken, zu abstrakt, zu abgehoben“. Leser dieser Zeitschrift werden etliche Autoren und ihre Themen wiedererkennen.

Lesen Sie den köstlichen Beitrag „Romeo und Julia, spontane Musterbildung und Turings Instabilität“ von Bernold Fiedler! Abstrakt gesehen geht es nur um die Stabilität eines zweidimensionalen diskreten dynamischen Systems in Abhängigkeit von gewissen Parametern. Aber in Wirklichkeit geht es um die Frage, ob Romeo und Julia zum stabilen Zustand des ewigen Eheglücks finden oder von einem Tag zum anderen zwischen hellstem Entzücken und schwärzester Verzweiflung schwanken. Das wiederum hängt davon ab, wie sehr sich beide von schwatzenden Schwestern oder prahlenden Brüdern beeindrucken lassen. „Schwatzt ein wenig, ihr Frauen, aber nicht zu viel. Die Grenze liegt bei 75 Prozent … Prahlt ein wenig, ihr Männer, aber nicht zu viel. Die kritische Grenze liegt bei 50 Prozent.“ Da lernen Sie was fürs Leben!

Christoph Pöppe



Visualisierung eines Strömungsfeldes mit dem Linienintegral-Faltungsverfahren. Aus „Computational Field Visualization“ von Christopher R. Johnson et al. in „Mathematics Unlimited“.

Der Rezensent ist Redakteur bei Spektrum der Wissenschaft.

WISSENSCHAFTSGESCHICHTE



Bernhard Kupfer

Lexikon der Nobelpreisträger

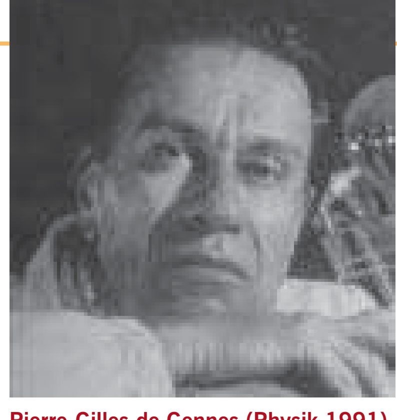
Patmos, Düsseldorf 2001. 480 Seiten, DM 68,–

Vor hundert Jahren, im Dezember 1901, wurden die ersten Nobelpreise vergeben. Das Jubiläum ist Anlass genug, alle Preisträger des 20. Jahrhunderts in einem Nachschlagewerk vorzustellen – bei 695 Personen und 17 Institutionen eine gewaltige Fleißarbeit.

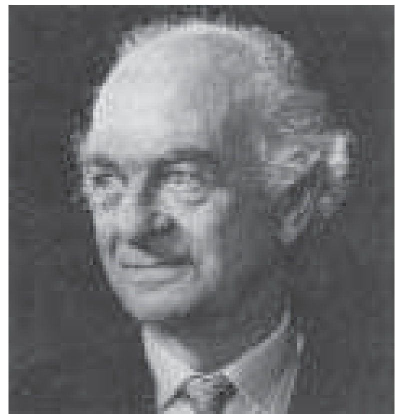
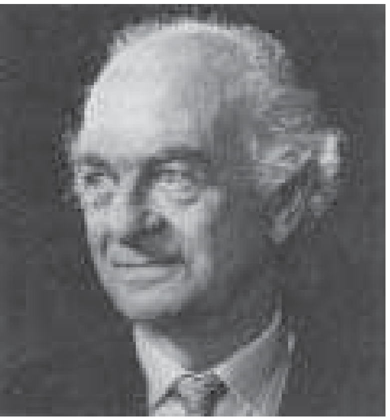
Dem Hauptteil des Lexikons vorangestellt sind ein Vorwort, das Leben, Werk und Testament des Preisstifters Alfred Nobel skizziert, sowie eine chronologische Auflistung der Laureaten, getrennt nach den Kategorien Physik, Chemie, Physiologie/Medizin, Literatur, Frieden und Wirtschaftswissenschaften. Eingangs jeder Kategorie befindet sich eine Bildtafel mit den Porträts von zwölf eher willkürlich ausgewählten Preisträgern. Die Einträge umfassen bei den wissenschaftlichen Preisträgern ungefähr eine halbe Seite, bei den Literatur- und Friedens-Nobelpreisträgern etwas mehr.

Die Biografien sind recht solide ausgearbeitet. Sowohl die fachlichen Leistungen als auch die persönlichen Merkmale der Preisträger werden im Rahmen der gebotenen Kürze gut abgehandelt. Allerdings scheint der Autor – über dessen Profession der Verlag nichts mitteilt – kein Physiker zu sein. Sonst hätte er auf Seite 107 den quantisierten Hall-Effekt kaum mit dem gewöhnlichen Hall-Effekt verwechselt oder (S. 78) mit dem eigenwilligen Namen „quantifizierter“ Hall-Effekt versehen. Was ein „kaltes Magnetfeld“ (S. 107 und 113) sein soll, verrät er dem Leser nicht.

Ein zusätzliches Namenregister wäre hilfreich gewesen. Die Preisträger sind nämlich innerhalb ihres Fachgebietes alphabetisch sortiert, aber wer nicht weiß, dass Linus Pauling den Preis für Chemie



Pierre-Gilles de Gennes (Physik 1991)

Linus Pauling (Chemie 1954, Frieden 1962)

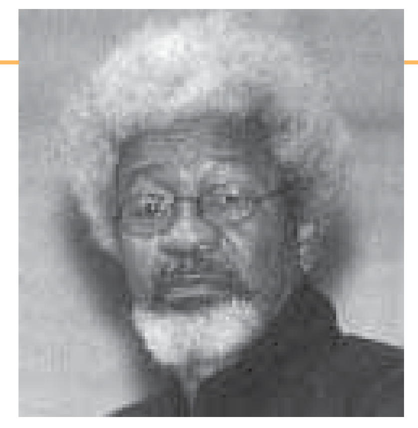


Rita Levi-Montalcini (Medizin 1986)

5×5 Test® Sachbuch Top Ten Dezember 2001

Die Sachbuch-Rezensionen von wissenschaft-online (http://www.5x5test.de) enthalten eine Punktwertung: Für die Kriterien Inhalt, Vermittlung, Verständlichkeit, Lesespaß und Preis-Leistungsverhältnis vergibt der Rezensent jeweils bis zu fünf Punkte. Die Liste führt die zehn Bücher mit den höchsten Gesamtpunktzahlen auf (Erscheinungszeitraum der Rezensionen: 22. September bis 1. Dezember 2001).

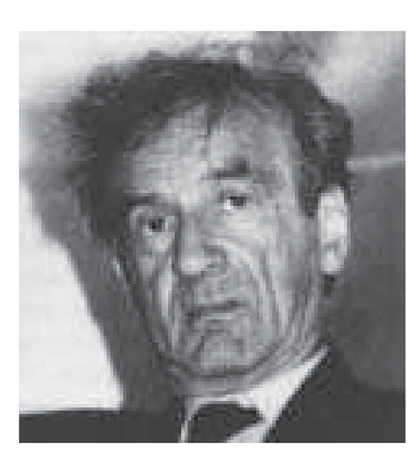
1. Simon Garfield — **Lila. Wie eine Farbe die Welt veränderte** — Siedler, 252 Seiten, 39,88 DM — 23 Punkte
2. Peter Häußler — **Donnerwetter– Physik!** — Wiley-VCH, 377 Seiten, 48,70 DM — 22
3. Geoffrey F. Miller — **Die sexuelle Revolution** — Partnerwahl und die Entstehung des Geistes — Spektrum Akademischer Verlag, 576 Seiten, 59,90 DM — 22
4. Robin Marantz Henig — **Der Mönch im Garten** — Die Geschichte des Gregor Mendel und die Entdeckung der Genetik — Argon, 374 Seiten, 39,90 DM — 21
5. Linus Torvalds, David Diamond — **Just for Fun** — Wie ein Freak die Computerwelt revolutionierte — Hanser, 240 Seiten, 39,80 DM — 21
6. Josef H. Reichholf — **Warum wir siegen wollen** — dtv, 259 Seiten, 28,01 DM — 20
7. Manfred Fischedick, Ole Langniß, Joachim Nitsch — **Nach dem Ausstieg: Zukunftskurs Erneuerbare Energien** — Hirzel, 208 Seiten, 32,08 DM — 20
8. Robert L. Wolke — **Was Einstein seinem Friseur erzählte** — Naturwissenschaft im Alltag — Piper, 352 Seiten, 35,99 DM — 19
9. Uwe Schultz — **Descartes** — Europa, 377 Seiten, 54,00 DM — 19
10. Gina Kolata — **Influenza** — Die Jagd nach dem Virus — S. Fischer, 351 Seiten, 39,30 DM — 19



Wole Soyinka (Literatur 1986)



Bertha von Suttner (Frieden 1905)



Elie Wiesel (Frieden 1986)

erhalten hat, muss suchen. Mehrfach-Preisträger werden nur einmal aufgeführt: Marie Curie findet sich nur unter Physik, aber nicht unter Chemie.

Solche Ungereimtheiten und kleinen Mängel trüben die Freude des eher fachkundigen Lesers etwas. Der Großteil der Nutzer wird allerdings auch kein Kompendium der Naturwissenschaften erwarten, sondern eine gute Übersicht über die Leistungen der Preisträger. Und diesen Anspruch erfüllt das Nachschlagewerk zweifellos.

Uwe Reichert

Der Rezensent ist Redakteur bei Spektrum der Wissenschaft.

ZOOLOGIE

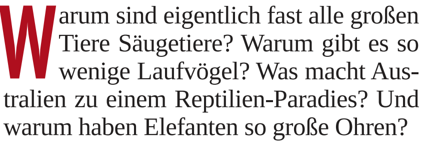


Chris Lavers

Warum Elefanten große Ohren haben

Dem genialen Bauplan der Tiere auf der Spur

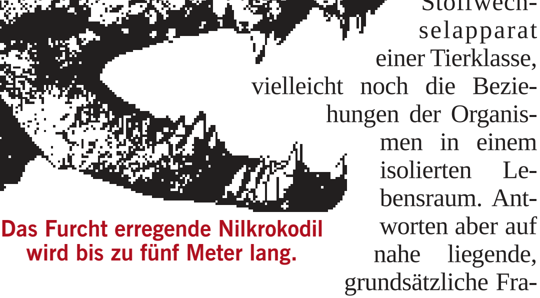
Aus dem Englischen von Andrea Kamphuis.
Lübbe, Bergisch Gladbach 2001. 304 Seiten, DM 39,80



Warum sind eigentlich fast alle großen Tiere Säugetiere? Warum gibt es so wenige Laufvögel? Was macht Australien zu einem Reptilien-Paradies? Und warum haben Elefanten so große Ohren?

Diese Fragen beschäftigten Chris Lavers schon als Kind. Doch weder in der Leihbücherei seiner Heimatstadt noch später in den Universitätsbibliotheken fand er befriedigende Antworten. Inzwischen befasst er sich beruflich mit Elefantenohren: Er forscht an der Universität Nottingham über Evolution, Ökologie und Stoffwechsel von Wirbeltieren.

Lavers beklagt, dass sich die Biologie oft in Details verliert. Sie betrachtet das Verhalten einer bestimmten Art, den Stoffwechselapparat einer Tierklasse, vielleicht noch die Beziehungen der Organismen in einem isolierten Lebensraum. Antworten aber auf nahe liegende, grundsätzliche Fragen gibt sie nur selten. Nicht, dass das leicht wäre. Man muss oft weit ausholen und viele Einzelinformationen intelligent kombinieren. So trug Lavers für das vorliegende Buch 25 Jahre lang Befunde aus zahlreichen Wissenschaftsdisziplinen zusammen: aus Ökologie, Morphologie, Paläontologie, Paläogeologie, Tierphysiologie, Biophysik, Genetik, Populationsökologie, Biogeografie, Paläoklimatologie, Evolutionsbiologie, Isotopen-Geochemie.



Das Furcht erregende Nilkrokodil wird bis zu fünf Meter lang.

Der Titel des Buchs lässt nette Geschichten über Elefanten erwarten. Die erzählt Lavers auch, aber Vorsicht: Er steigt bald in die Entwicklungsgeschichte der Arten ein. Nur auf dem Umweg über Knochenkämme in fossilen Schädeln, prähistorische Räuber-Beute-Beziehungen und das Massenverhältnis von Sauerstoff-Isotopen in Versteinerungen lässt sich erklären, warum und wie sich die heutige Fauna entwickelt hat.

Konzipiert ist das Buch für Laien. Doch auch Biologen oder Ökologen ohne spezielle paläontologische Kenntnisse werden das Buch mit Gewinn lesen. Es gibt einen guten Überblick über das aktuelle Wissen zur Entstehung der Vierfüßer-Arten. Anekdoten aus dem Leben der Tiere illustrieren meist ein generelles Prinzip.

Überhaupt schafft das Buch Ordnung im globalen Zoo. Lavers wichtigste Botschaft: Die Vielfalt der Erscheinungsformen im Tierreich, vom tonnenschweren Elefanten bis zur winzigen Spitzmaus, ist die Folge weniger grundlegender Anforderungen: optimale Nutzung von Energie, Regulierung des Wasser- und Wärmehaushalts sowie der Fähigkeit, Fressfeinden zu entgehen.

Wer groß ist, kann sich nicht verstecken, argumentiert Lavers. Wer sich nicht verstecken kann, muss weglaufen oder kämpfen. Dazu ist man am besten warmblütig, da dann die Muskeln mehr leisten. Flugfähige Vögel können aus physikalischen Gründen nicht sehr groß werden. Und voilà, jetzt wissen wir, warum große Tiere meist Säugetiere sind.

Im Buch gibt sich Lavers viel mehr Mühe mit der Erklärung. Er argumentiert nach guter Paläontologen-Manier mit mehreren parallelen Indizienketten und stützt seine Schlussfolgerungen auf zahllose Befunde.

RAUMFAHRT

Peter Eckart und Buzz Aldrin

The Lunar Base Handbook

An Introduction to Lunar Base Design, Development and Operations

McGraw-Hill, New York 2000. 851 Seiten, $ 60,75

Zur Jahrtausendwende sind wir von einer bemannten Mondbasis sicherlich weiter entfernt, als es noch zu den Glanzzeiten des Apollo-Programms erschien. Doch nach Fertigstellung der Internationalen Raumstation wäre der Aufbau bemannter Stationen auf Mond und Mars ein logischer nächster Schritt, und die technischen Grundlagen dazu werden bereits jetzt gelegt. So wurde in diesem Sommer die Mars Arctic Research Station in dem Haughton-Meteoritenkrater auf Devon Island in Nordkanada in Betrieb genommen. Eine Gruppe von Bewohnern soll dort die technischen Möglichkeiten des Lebens in einer Basis auf einem anderen Himmelskörper erproben.

Das „Lunar Base Handbook“ wendet sich nicht nur an Raumfahrtingenieure, sondern ist jedem zu empfehlen, der an Raumfahrt interessiert ist und eine umfassende und detaillierte Darstellung zu dem Thema „Mondbasen“ sucht. Peter Eckart hat Luft- und Raumfahrt studiert und über dieses Thema promoviert; er leitet zurzeit das europäische Mondsatellitenprojekt „LunarSat“. In den 24 Kapiteln behandelt er nicht nur technische Aspekte wie den Transport zum Mond, Aufbau der Station, Energieversorgung, Lebenserhaltungssysteme und Nutzung von Ressourcen auf dem Mond, sondern geht auch auf ökonomische und gesellschaftliche Themen wie das Management der Station, die Operationskosten, politische Fragen und die wissenschaftlichen Zielsetzungen ein.

Aufgrund seiner fundierten Sachkenntnis geht er dabei sehr ins Detail, was das Buch zu einer wertvollen Informationsquelle macht. Durch viele Abbildungen wird der Stoff so aufgelockert und erklärt, dass er auch einem interessierten Laien zugänglich ist.

Die einzelnen Kapitel werden durch einen oder mehrere Essays namhafter Raumfahrtexperten eingeleitet, die in das Thema einführen und die Fantasie des Lesers anregen sollen. Von den 53 Essay-Autoren haben immerhin drei selbst ihren Fuß auf dem Mond gesetzt: die Apollo-Astronauten Buzz Aldrin und John Young sowie der Geologe Harrison Schmitt. Auch der Rest der mit Kurzbiografien versehenen Autorenliste liest sich wie ein „Who’s who“ der internationalen Raumfahrt: die Direktoren amerikanischer, europäischer, russischer und japanischer Raumfahrtprogramme, der deutsche Astronaut Ernst Messerschmid, ehemalige Mitarbeiter Wernher von Brauns und der bekannte Sciencefiction- und Sachbuchautor Arthur C. Clarke („2001 – Odyssee im Weltall“).

Nach der Lektüre des Buches bleibt nur noch die Frage offen, ob und wann die Menschheit zur Realisierung einer bemannten Mondstation bereit ist.

Rainer Riemann

Der Rezensent ist promovierter Physiker; er arbeitete bei der Esa an der Entwicklung von Mondprojekten und ist freier Wissenschaftsjournalist.

(Seiten 100, 101 und 102: Anzeige und Beihefter)



Der Nacktmull ist ein wechselwarmes Säugetier (Spektrum der Wissenschaft 10/1992, S. 90).

Warmblütigkeit, Größe von Tierklassen: Diese beiden zentralen Themen ziehen sich durch das gesamte Buch. In Lehrbüchern werden Warmblüter oft als die weiter entwickelten, überlegenen Arten betrachtet. Aber Tiere wie die Krokodile kommen gerade deswegen so gut in ihrem Lebensraum zurecht, weil sie keine Energie für das Heizen aufwenden. Dabei bringen sie es, nebenbei, auf beachtliche Größe, was mit den Besonderheiten des Ökosystems Fluss zu tun hat.

Bei der Suche nach den Ursprüngen der Warmblütigkeit stößt Lavers auf eine der großen Streitfragen der Paläontologen: Wie haben sich die Dinosaurier entschieden, waren sie wechselwarm oder warmblütig? Lavers fährt zunächst eine Batterie von Argumenten für die Warmblüter-Hypothese auf. Wenn der Leser dann überzeugt ist, lässt er die Gegenseite die Argumente der Reihe nach entkräften. Auch wenn am Ende nicht geklärt werden kann, wer nun Recht hat: Lavers zeigt an diesem Fall sehr anschaulich, wie Paläontologen streiten.

Geringe Größe erleichtert das Verstecken in Löchern: Kopf und Rumpf des Koboldmakis messen etwa 14 Zentimeter.

So verblüffend und überzeugend Lavers oft argumentiert: Manchmal weiß man als Leser nicht mehr, woher man kommt und wo der Autor mit einem hin will. Das liegt vor allem daran, dass Lavers sehr viele ausführliche Beispiele bringt, die den häufig seitenlangen Argumentationsstrang unterbrechen. Oft bringt er zu gerade aufgestellten Regeln unvermittelt die Ausnahmen an. An der einen oder anderen Stelle ist die Argumentation von Lavers nicht nachvollziehbar, weil er bestimmte Randbedingungen verschweigt oder zumindest nicht in Erinnerung ruft. Zu seiner Verteidigung sei gesagt: Er hat furchtbare Platznot, 304 Seiten für einige hundert Millionen Jahre.

Leider ist das Buch nur spärlich mit Grafiken versehen, die zudem oft wenig aussagen. Offensichtlich um den Formel-Feinden entgegenzukommen, vermeidet Lavers jede Gleichung, beschreibt sogar den Zusammenhang zwischen Oberfläche und Volumen mit Worten – was die Sache stellenweise schwieriger macht.

Sehr schön sind das ausführliche Inhaltsverzeichnis und die noch viel ausführlichere Bibliografie. Lavers hat ▶

PREISRÄTSEL

Zahlensalat

von Richard Mischak

In einer Schüssel befinden sich achtzig verschiedene natürliche Zahlen, die kleiner als 230 sind.

Haben mindestens zwei von ihnen die Differenz 3, 4 oder 7? Wenn ja, warum, wenn nein, warum nicht?

Schicken Sie Ihre Lösung in einem frankierten Brief oder auf einer Postkarte an Spektrum der Wissenschaft, Leserservice, Postfach 104840, D-69038 Heidelberg.

Unter den Einsendern der richtigen Lösung verlosen wir zehn schwebende Kugelschreiber „Pen Ultimate". Der Rechtsweg ist ausgeschlossen. Es werden alle Lösungen berücksichtigt, die bis Dienstag, 11. 12. 2001, eingehen.

Lösung zu „Jetzt weiß ich's" (Oktober 2001)

Die vier kleinsten Primzahlen, die übrhaupt die Bedingungen der Aufgabe erfüllen, sind (3,3,5,5). Im zweiten Fall hat Anne (11,13) und Bernd (13,17) auf der Stirn. Bei der dritten Aufgabe tragen beide das Zahlenpaar (13,17).

Wilhelm Kusterer aus Taufkirchen löste das Problem mit folgenden Vorüberlegungen:

➤ Es können nicht drei gleiche Zahlen vorkommen, denn der Umfang des Dreiecks aus diesen Zahlen wäre durch 3 teilbar.

➤ Die Zahl 2 kann nicht vorkommen, da sie mit zwei ungeraden Primzahlen zusammen einen durch 2 teilbaren Umfang ergeben würde.

➤ Es gibt eine obere Grenze der Zahlen. Insbesondere muss man in der dritten Teilaufgabe aus 13, 17 und jeder der beiden anderen Zahlen ein Dreieck bilden können. Daher können diese Zahlen nicht kleiner als 4 und nicht größer als 30 sein (Dreiecksungleichung).

Da es sich außerdem um Primzahlen handeln muss, bleibt nur noch eine recht überschaubare Menge denkbarer Zahlenquadrupel übrig:

(3,3,5,5), (5,5,7,7),
(5,11,13,13), (11,13,13,17),
(7,13,17,17), (13,13,17,17),
(7,17,17,19), (5,19,19,23),
(19,19,23,29).

Damit ist die erste Frage bereits beantwortet: Die kleinsten vier zulässigen Primzahlen sind (3,3,5,5).

Nun zur zweiten Frage: Da Bernd bei Anne das Zahlenpaar (11,13) sieht, weiß er, dass er entweder (5,13) oder (13,17) trägt. Wenn Anne bei Bernd das Zahlenpaar (5,13) sehen würde, könnte sie daraus sofort folgern, dass sie (11,13) tragen muss. Da sie das nicht tut, weiß Bernd, dass nur die andere Möglichkeit in Frage kommt: Er trägt (13,17).

Die dritte Aufgabe ist nach demselben Prinzip zu lösen, nur etwas verzwickter:

Anne sieht bei Bernd (13,17) und weiß damit, dass sie (7,17), (11,13) oder (13,17) trägt.

Nehmen wir an, Bernd sieht (7,17) bei Anne; dann hat er selbst (17,19) oder (13,17). Im ersten Fall wüsste Anne sofort, dass sie (7,17) hat, und würde dies auch sagen. Sie aber schweigt, also hätte Bernd (13,17) und würde dies verkünden. Da Bernd das nicht tut, ist die gesamte Annahme falsch.

Nehmen wir nun an, Anne hat (11,13). Damit hat Bernd (5,13) oder (13, 17). Wenn Anne bei Bernd (5,13) sieht, weiß sie sofort Bescheid (siehe zweite Aufgabe) und würde dies sagen. Sie aber schweigt. Bernd weiß also, dass er (13,17) hat, und würde dies Anne auch mitteilen. Tut er aber nicht … Also ist auch diese Annahme falsch.

Als einzige Möglichkeit, die nicht auf einen Widerspruch führt, bleibt (13,17) für Anne.

Die Gewinner der fünf Puzzles „MindScape" sind Stefan Kahrs, Tübingen; Heinrich Biener, Weilheim; Wilhelm Kusterer, Taufkirchen; Bruno Wehinger, Bräunlingen; und Markus Göttfert, Rothenburg.

Lust auf noch mehr Rätsel? Unser Wissenschaftsportal wissenschaft-online (www.wissenschaft-online.de) bietet Ihnen unter dem Fachgebiet „Mathematik" jeden Monat eine neue mathematische Knobelei.

sich die Arbeit gemacht, alle Quellen in drei Schwierigkeitsstufen einzuteilen: für das breite Publikum, für Laien und für Wissenschaftler. Das ist Service!

Wer wissen will, was Vierfüßer den ganzen Tag treiben – und vor allem warum –, und wer sich dabei von ein paar didaktischen Schwächen nicht beirren lässt, der sollte Lavers' Buch lesen.

Hermann Englert

Der Rezensent ist Diplom-Biologe und freier Wissenschaftsjournalist in Frankfurt am Main.

GESCHICHTE

Konrad Burgbacher, Gerhard Faix (Hg.)

In den Wirren des Bauernkriegs

Jerg Ratgeb und der Herrenberger Altar

2 CD-Roms für Windows mit Begleitheft.
Konrad Theiss, Stuttgart 2001. DM 69,–



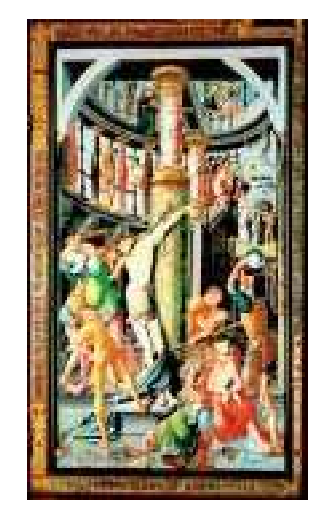
Der Künstler Jerg Ratgeb hat ein bewegtes Leben geführt. Um 1495 in Schwäbisch Gmünd geboren, malte er 1518/1519 für die Stiftskirche in Herrenberg sechs Tafelbilder, die zu einem Wandelaltar mit drei Schauseiten zusammengesetzt wurden. Sie hängen heute in der Stuttgarter Staatsgalerie und gelten als Ratgebs Hauptwerk.

Nur wenige Jahre später, 1524, brachen im ganzen Reich – ausgelöst durch die wegen der Leibeigenschaft und hoher Steuerlasten bedrückenden Lebensverhältnisse – die Bauernaufstände aus. In Württemberg formulierten die Aufständischen „12 Artikel der Bauernschaft in Schwaben", eine frühe Version der heute allgemein anerkannten Grundrechte. In der Schlacht bei Böblingen am 12. Mai 1525 fügten sechstausend Landsknechte des Schwäbischen Bundes den fünfzehn- bis zwanzigtausend Bauern eine schwere Niederlage zu, der sich ein blutiges Strafgericht anschloss. Jerg Ratgeb, der zu den Anführern der Aufstände zählte, wurde 1526 in Pforzheim gevierteilt.

Das vorliegende Werk ist den Themen entsprechend zweigeteilt: Die erste CD-Rom widmet sich dem Altar und seinem Umraum, dem Chor(gestühl), die zweite den Bauernkriegen in Württemberg.

Der Herrenberger Altar war in der künstlerischen (und politischen) Umbruchphase zwischen Spätgotik und Renaissance entstanden und erfuhr, wie der Künstler selbst, erst in der Moderne die ihm gebührende Würdigung. Die Altartafeln, die Szenen aus der Jugend und Passion Christi zeigen, bildeten den Mittelpunkt des Chors der Stiftskirche zu Herrenberg. Diesen hatte 1517 Meister Heinrich Schickhardt im Auftrag der „Brüder vom gemeinsamen Leben" – einer Reformgemeinschaft nach dem Vorbild der apostolischen Urgemeinde – geschaffen. Chorgestühl und Hochaltar standen in engem theologischem Sinnzusammenhang.

Diesen Zusammenhang stellt – zumindest virtuell – die erste CD-Rom erstmalig wieder her; denn das Chorgestühl, das üppig mit Schnitzwerk geschmückt war und die Idee der „vita communis" der Brüderschaft verkörperte, war während des Bildersturms 1537/38 ausgelagert und nach der Reformation ohne Berücksichtigung der ursprünglichen Konzeption und ohne Bilder wieder aufgebaut worden. Die CD vermittelt eine gute Vorstellung vom einstmaligen Aussehen des Chors einerseits und den Wechselwirkungen zwischen Raum, Chorgestühl und Altar andererseits. Vorausgeschickt wird außerdem ein Kapitel zur Baugeschichte der Stiftskirche, zu der es kaum schriftliche Überlieferung gibt.



Geißelung Christi. Tafelbild aus dem Herrenberger Altar von Jerg Ratgeb.

Innerhalb des Themas „Altar" findet sich, neben den üblichen Daten, Beschreibungen, Deutungen sowie der Einordnung des Kunstwerks nach verschiedenen Kriterien („Um-Bild-Raum"), unter dem Schlagwort „Bildbetrachtung" die Möglichkeit, bei großer Auflösung exakte Detailstudien der einzelnen Altartafeln zu betreiben – wesentlich genauer, als es vor Ort möglich wäre. Auch „Bildanalyse" anzuklicken lohnt, denn hier kann man unter den Aspekten Licht, Proportionen, Raum und Dynamik die Szenen komplett neu in Augenschein nehmen. Die wenig bekannte Reformgemeinschaft der „Brüder vom gemeinsamen Leben", ihre Geschichte, ihr Selbstverständnis und ihre Lehren, werden mit Hilfe kurzer Hörstücke und interaktiver Sequenzen vorgestellt; auch die kirchliche Situation im Württemberg des 16. Jahrhunderts wird angesprochen.

Nach der Lektüre des Begleitheftchens ist man etwas eingeschüchtert. In recht hochgestochener Sprache werden dort das Projekt selbst, sein Anspruch, seine Mittel und Ziele vorgestellt. Aber der Anspruch wird eingelöst: Die „Rekonstruktion komplexer Raumstrukturen durch Kombination verschiedenster Medien" ist gut gelungen. Mit einer Mischung aus Zeichnung, Karte, Bild, Text, Ton, Video und Animation wird eine Fülle von Material informativ und abwechslungsreich dem Benutzer zur Auswahl dargeboten. Quellentexte, teils schriftlich, teils akustisch, teils bildlich, geben den nötigen historischen Background.



Auferstehung Christi

Wer sich nur mit den Bauernkriegen beschäftigen möchte, kann sich intensiver und schneller, wenn auch trockener und weniger amüsant, aus Geschichtsbüchern informieren. Die Rekonstruktion des „Gesamtkunstwerks Chorraum" dagegen war das interdisziplinäre Forschungsprojekt der Universität Stuttgart, aus dem diese CDs hervorgegangen sind. Dessen Ergebnisse wird man so konzentriert und wohl aufbereitet nirgendwo anders vorfinden. Die im Text gegebenen Informationen, Quellen- und Literatur-Übersicht sind auf dem neuesten Forschungsstand. Zudem macht das Surfen durch die CDs Spaß, für Übersichtlichkeit ist gesorgt, lediglich manche Überbegriffe – wie „Gedankenraum" oder „Um-Bild-Raum" – sind nicht auf den ersten Blick verständlich.

Margit Brinke und Peter Kränzle

Die Rezensenten haben in Klassischer Archäologie promoviert und sind jetzt als Buchautoren und Journalisten in Augsburg tätig.

Merkwürdiges und Esoterisches

Nichts ist leichter im WWW zu finden als Unfug. Das gilt auch für – drücken wir es vorsichtig aus – Theorien mit mehr oder eher weniger gerechtfertigtem wissenschaftlichem Anspruch. Die deutsche Ausgabe der handredigierten Suchmaschine Yahoo bietet unter dem einfühlsam gewählten Rubrikennamen „Grenzwissenschaften“ stolze 242 Einträge (http://de.dir.yahoo.com/Naturwissenschaft_und_Technik/Grenzwissenschaften/), nur geringfügig weniger als für die gesamte Physik. Von diesen Einträgen verweisen die meisten wieder auf lange Listen von Fundstellen: Horoskope aller Art, darunter eine von Yahoo selbst verantwortete Horoskop-Website, die Weissagungen des Nostradamus, der Bibel-Code, Äußerungen der Zeugen Jehovas zu vergangenen und zukünftigen Sintfluten (unter Vereinnahmung des wissenschaftlich besetzten Begriffs „Katastrophentheorie“) – alle diese halbseidenen Geschichten aus weniger seriösen Presseerzeugnissen und Fernsehsendungen finden sich im Web wieder. Warum sollte es auch anders sein? Erschreckend viele Leute glauben an diese Dinge und nutzen, selbstverständlich, das Internet, um ihre Gedanken dazu untereinander auszutauschen.



Die „Süddeutsche Studiengruppe“ (http://www.figu-sdsg.de/) will die Öffentlichkeit unter anderem mit den Hunderten von Fotos des „in UFO-Kreisen sehr bekannten ‚Billy‘ Eduard Albert Meier“ bekannt machen.

Und was sagt die Wissenschaft im Internet dazu? Nicht allzuviel. Offensichtlich artet die Auseinandersetzung zwischen Anhängern und Gegnern esoterischer Überzeugungen regelmäßig in einen Grabenkampf aus, bei dem für letztere wenig Ruhm oder Spaß zu holen ist. Das durchzuhalten erfordert schon eine sehr standfeste aufklärerische Grundhaltung. Zudem befinden sich die Aufklärer in der Zwickmühle zwischen den Absichten, einerseits die Auffassungen der anderen Seite als verfehlt zu bekämpfen, sie andererseits zumindest vorläufig gelten zu lassen – man will ja nicht in Dogmatismus verfallen.

In der „Gesellschaft für die wissenschaftliche Untersuchung von Parawissenschaften“ (GWUP), die sich solch aufklärerisches Tun auf die Fahnen geschrieben hat, fand vor drei Jahren ein Bruch statt, weil sich die wesentlichen Akteure nicht auf eine gemeinsame Position in diesem Spannungsfeld einigen konnten. Edgar Wunder, Gründungsmitglied der GWUP und zeitweise der aktivste Redakteur der Hauszeitschrift „Skeptiker“, verließ den Verein und gründete das „Forum Parawissenschaften“, auf dessen Website (www.forum-parawissenschaften.de/) er nicht nur wortreich seine Sicht der Dinge darlegt, sondern auch zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten zur Einsicht bereithält. Dagegen ist die GWUP selbst nur mit einer eher durchschnittlichen Site im Web vertreten (www.gwup.org); Inhaltliches findet sich im Wesentlichen in Online-Auszügen aus dem „Skeptiker“.

Nicht jeder, der gegen Pseudowissenschaft (*junk science*) zu kämpfen vorgibt, tut dies auch. Ausgerechnet die einprägsame Adresse www.junkscience.com ist von einem Vielschreiber namens Steven J. Milloy besetzt, der auf dieser Website einen Privatkrieg unter anderem gegen *health scares* führt; damit meint er die Leute und Behörden, die in seinen Augen in Bezug auf die Gefahren durch Asbest, radioaktive Strahlung und Umweltchemikalien den Teufel an die Wand malen.



Selbstdarstellung von Steven J. Milloy

Als einsamer Stern am ansonsten relativ schwarzen Himmel erstrahlt das „Skeptic’s Dictionary“ von Robert T. Carroll, Professor für Philosophie am Sacramento City College (Kalifornien). Carroll schreibt seit 1994 ein echtes Online-Buch (www.skepdic.com), voller Querverweise und Links auf andere Quellen, darunter auch die, deren Aussagen er kritisiert. Von ursprünglich etwa fünfzig Artikeln ist sein Werk auf über 400 Abhandlungen angewachsen – eine unerschöpfliche Fundgrube an Material, das über verschiedene Suchwege erschließbar ist. Stichproben zeigen, dass Carroll sich in die Gedankenwelt der zahlreichen Esoterik-Vertreter intensiv und mit großem Einfühlungsvermögen eingelesen hat. Die Beschriebenen dürften sich zumindest richtig dargestellt fühlen, wenngleich er aus seiner glasklar skeptischen Grundhaltung kein Hehl macht.



Das Logo des „Skeptic’s Dictionary“

Beispielhaft ist Carrolls Auseinandersetzung mit dem kontroversen Thema „multiple Persönlichkeiten“. Mit großer Sorgfalt legt er auseinander, dass viele Persönlichkeiten in ein und demselben Körper durchaus real sein mögen, aber eben trotzdem soziale Konstrukte sind. Sigmund Freud gesteht er immerhin eine Großtat zu: die Erweckung des Wunsches, konventionswidriges Verhalten zu verstehen anstatt es nur zu verdammen oder zu verlachen. Dagegen lässt er an der von Freud begründeten Psychoanalyse kein gutes Haar.

Ein Mensch, der den Besuchern seiner Website www.skeptischeecke.de nur seinen Vornamen Tobias verrät, hat einige von Carrolls Artikeln ins Deutsche übersetzt und mit eigenen und fremden Kommentaren sowie weiteren Links angereichert. Ein Hinweis auf diese Website steht bei Yahoo unter „Grenzwissenschaften“ – als einziger Verweis auf Skeptisches. Immerhin.

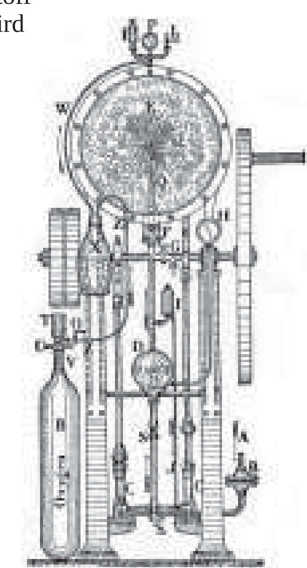
Christoph Pöppe

Der Autor ist Redakteur bei Spektrum der Wissenschaft.



Apparat zum künstlichen Altmachen alkoholischer Getränke

Der frisch aus dem Destillationsprocess hervorgehende Alkohol enthält in beträchtlicher Menge Aldehyde wie Furfurol. ... Lässt man nun den Cognac in Fässern lange Zeit stehen, so scheiden allmählich die ... schädlichen Beimischungen durch Oxydation am Sauerstoff der Luft aus, und das Getränk wird schmackhaft. Man ist seit langer Zeit bestrebt gewesen, den natürlichen Vorgang durch einen künstlichen, schnell wirkenden zu ersetzen. Sauerstoff oder Ozon, in reiner Form angewandt und mit dem Alkohol in innige Mischung gebracht, musste den gewünschten Erfolg haben. ... Man kann mit diesem Apparat je nach seiner Grösse in einer Minute 3 – 50 l vorzüglichen, sofort geniessbaren Alkohol jeder Gestalt herstellen. ... Ein Gehalt an Aldehyden von 10 % wird in dem Apparat auf die nicht mehr wahrnehmbare, unschädliche Menge von 1/2 % reducirt. *(Zeitschrift für die gesammte Kohlensäure-Industrie, VII. Jg., Nr. 24, S. 726)*



Apparat von M. W. Saint-Martin zum künstlichen Altmachen alkoholischer Getränke

Die giftige Wirkung des Phenylhydrazins

Das Phenylhydrazin ist ein vom Chemiker viel benutzter Körper, mit dessen Hilfe es u. a. Emil Fischer gelang, den Bau der Zuckerarten aufzuklären. Es ist bisher nicht allgemein bekannt geworden, dass die genannte Substanz durchaus nicht harmlos ist. Wie Prof. Lewin ... mitteilt, ruft sie an den Händen Ausschläge hervor und hat längeren Arbeiten damit allgemeine Schwäche und Müdigkeit, Blässe des Gesichts, Diarrhoe etc. zur Folge. Die Giftwirkung scheint auf einem Einfluss des Phenylhydrazins auf das Blut zu beruhen. *(Die Umschau, V. Jg., Nr. 50, S. 995)*

Direkter Nachweis von Theïn

Der im Handel vorkommende Thee ist zuweilen dadurch verfälscht, daß man ihm bereits gebrauchten Thee beigemischt hat. Solche Verfälschungen waren bisher schwierig nachzuweisen. ... Das Verfahren beruht auf der Eigenschaft des Theïns und des Cumarins, leicht in bestimmten, mikrochemisch erkennbaren Krystallen zu sublimiren. Zerreibt man ein Blatttheilchen nicht gebrauchten Thees und ... bedeckt dies mit einer Glasplatte und erwärmt es über einem Bunsenschen Brenner, ... so schießen nach 5 bis 15 Minuten auf der Unterseite der Glasplatte Krystalle an, die aus Theïn bestehen. Beim Ausbleiben dieser Krystallbildung kann man sicher sein, daß die Teeprobe bereits extrahirt war. *(Naturwissenschaftliche Rundschau, XVI. Jg., Nr. 50, S. 648)*

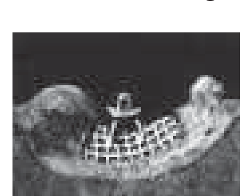


Nobelpreis für Physiologie und Medizin

Die Arbeiten von Dr. Theiler sind als eine geschlossene und zielbewußte Leistung von grundlegender Bedeutung für die praktische Bekämpfung des Gelben Fiebers anzusehen. Mit dem Serum, das nach seinen Methoden hergestellt wird, sind Millionen Menschen geimpft worden, und der Schutz hat sich als außerordentlich wirksam erwiesen. Theilers Forschungen waren außerdem für die Bekämpfung anderer Viruskrankheiten wertvoll, bei der entsprechende Methoden zur Anwendung kommen. *(Naturwissenschaftliche Rundschau, 4. Jg., Heft 12, 1951, S. 541)*

Festsitzender Zahnersatz durch Metall-Implantate

Amerikanische Zahnärzte haben in jüngster Zeit versucht ... durch Implantation von Metallgerüsten zwischen Knochenhaut und Knochen die Möglichkeit zu schaffen, auch den zahnlosen Kiefer mit festen Brücken zu versehen. Die Implantate, die aus Vitallium, einer Kobalt-Chrom-Legierung bestehen, sitzen dem Kieferkamm in Form eines Sattels von netzartiger Struktur auf und tragen ein Gerüst mit einer Kappe, die einem Zahnstumpf entspricht und zur Befestigung des Brückenankers dient. Die Operationstechnik ist relativ einfach. Schleimhaut und Knochenhaut werden auf der Höhe des Kieferkammes aufgeschnitten, das Plantat eingeschoben und die Schnittränder wieder vernäht. *(Die Umschau, 51. Jg., Heft 23, S. 728)*



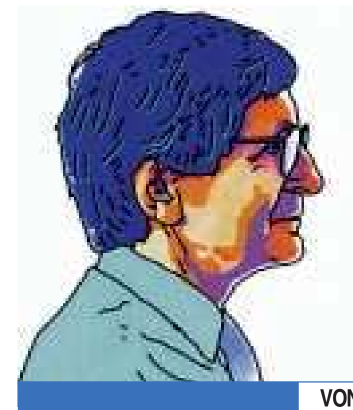
Implantat fertig zum Einsetzen



Auf das Implantat (rechts) wird die abnehmbare Prothese (links) gesetzt.

Positronen zum Nachweis von Hirntumoren

Dem Patienten wird in die Blutbahn ein Farbstoff injiziert, der ein Positronen aussendendes Radioisotop enthält. Auf der Blutbahn gelangt der Farbstoff in das Gehirn und wird dort in den krankhaft veränderten Zellen des Tumors angereichert, und proportional seiner Akkumulation verstärkt sich die Strahlungsintensität seines Radioisotopes. An beiden Seiten des Kopfes des Patienten ... werden dann zwei äußerst empfindliche Nachweisgeräte für Positronen angebracht; vom Tumor zu den beiden Geräten lassen sich Linien ziehen, deren Schnittpunkt den genauen Sitz des Tumors angibt. *(Orion, 6. Jg., Nr. 24, S. 1007)*



Karussellspiele

Eigentlich fliegen Bälle nicht um die Ecke – für einen karussellfahrenden Spieler aber doch. Die Zentrifugalkraft lässt auch Kerzenflammen schräg stehen.

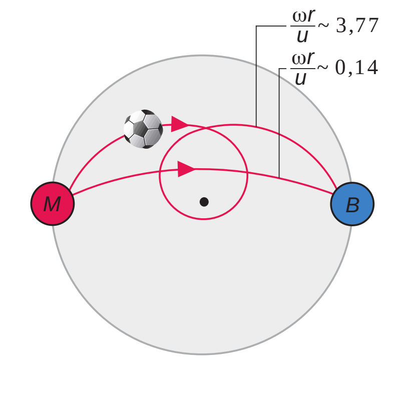
VON WOLFGANG BÜRGER

GRAFIK: AXEL WEIGEND



JUERGEN SIEGMANN / IMAGES.DE

Im Kettenkarussell bekommt man am eigenen Leibe zu spüren, dass die Resultierende aus Schwer- und Fliehkraft nach unten außen weist.



Fangball im Karussell: Zwar war ich erst zum Abendvortrag ins Kolloquium geladen, aber die Kollegen in K. hatten mich schon früh am Morgen zu Gesprächen in die Universität bestellt. Nun saß ich im Keller der Mathematischen Fakultät in einem schlichten Karussell, das angeblich wissenschaftlichen Zwecken diente. Der Innenraum von etwa fünf Metern Durchmesser war mit undurchdringlichen Vorhängen gegen die Sicht nach außen abgeschirmt. Eine schmale Sitzbank rund herum sparte nur die Eingänge aus und gab den übrigen Raum zum Experimentieren frei. Mit einem Ball in der Hand nahm mein Kollege M. mir gegenüber Platz, brachte das Karussell durch Knopfdruck in Fahrt und warf mir den Ball zu. Allerdings zielte er nicht auf mich, sondern weit voraus in Umlaufrichtung des Karussells. Der Ball flog auch nicht geradeaus und damit an mir vorbei, wie ich einen Augenblick lang befürchtet hatte, sondern machte einen eleganten Bogen, sodass ich ihn leicht einfangen konnte. Beim Rückwurf machte ich den Fehler, direkt auf Herrn M. zuzuspielen. Mein Ball driftete aus der Zielrichtung ins unerreichbare Abseits.

Auf einem Karussell Fangball zu spielen, ist leichter gesagt als getan; es lässt sich aber lernen. Ein Beobachter, der senkrecht von oben blickt und die Drehung nicht mitmacht, sieht das Karussell mit gleich bleibender Winkelgeschwindigkeit sich um seine Achse drehen und den Ball mit konstanter Horizontalgeschwindigkeit auf einer Sehne durch den Karussellkreis laufen. Mit etwas Trigonometrie aus der Schule (siehe Kasten) lässt sich ausrechnen, mit welcher Geschwindigkeit und unter welchem Winkel der Werfer den Ball abwerfen muss, um den Fänger zu treffen.

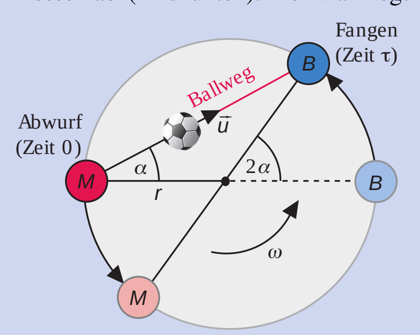
Damit der Ball nicht zu Boden geht, ehe er am Ziel ist, muss er mit hinreichend großer Geschwindigkeit fliegen. Sein Flug durchs Karussell darf deshalb nur den Bruchteil einer Sekunde dauern. Unser Auge ist zu träge, in dieser kurzen Zeit Einzelheiten der Bewegung wahrzunehmen, sie lassen sich nur fotografisch in der Zeitlupe verfolgen. In einem Raumlabor, das die Erde als Satellit umkreist, könnte der Ball mit beliebig kleiner Geschwindigkeit fliegen, ohne zu fallen. Unbehelligt von der Erdschwere könnte er auf Schleifenbahnen zum Fänger laufen, oder der Werfer könnte seinen Ball an einem anderen Ort selbst wieder einfangen (Bild links).

Für den auf dem Karussell mitfahrenden Beobachter fliegen Bälle auf krummen Wegen und bei kleiner Ball- (oder großer Karussell-) Geschwindigkeit sogar Ehrenrunden um die Karussellachse. Solche Schleifenbahnen sind genauso „wirklich“ wie die links und rechts herum drehenden Luftwirbel, als die Hoch- und Tiefdruckgebiete auf der Wetterkarte erscheinen. Auch in Bezug auf die Erde fliegt kein Ball genau geradeaus, selbst wenn er ideale Kugelform hat und kein Hauch ihn aus der geraden Bahn weht. Die Erde ist selbst ein Karussell, ihre Drehung nur zu langsam, um beim Ballspielen einen messbaren Effekt zu haben. Als Léon Foucault 1851 die Drehung der Erde in seinem berühmten Pendelversuch im Pariser Panthéon sichtbar machte, war dies eine große Sensation.

Das Kerzenkarussell: Wie brennt eine Kerze, die Karussell fährt? Bleibt ihre Flamme aufrecht, oder neigt sie sich unter dem Einfluss der Zentrifugalkraft zur Seite wie die Ketten eines fahrenden Kettenkarussells? Beim Spiel mit runden schweren Bällen kann die Luft außer Betracht bleiben, weil sie die Bälle auf dem kurzen Weg durchs Karussell weder merklich bremsen noch

Spiel mit Bällen und Fliehkräften

Die Spieler M und B sitzen auf der Peripherie eines Karussells mit Radius r, das mit der Winkelgeschwindigkeit ω rotiert. Um B zur Zeit $t = \tau$ zu treffen, wirft M den Ball zur Zeit $t = 0$ – aus der Sicht eines ruhenden Beobachters – mit der Horizontalgeschwindigkeit $\vec{u}$ im Winkel α gegen den Durchmesser ab (Bild unten). Der Ball legt

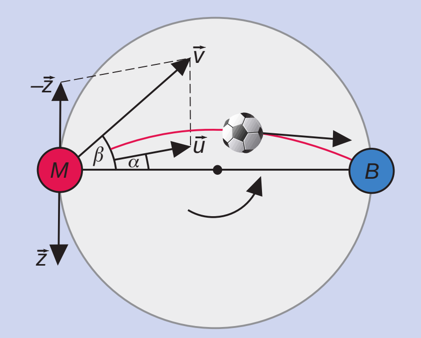


auf der Kreissehne in der Zeit τ den Weg $u\tau = 2r\cos\alpha$ zurück (u ist der Betrag des Vektors $\vec{u}$), während sich das Karussell um den Winkel $\omega\tau = 2\alpha$ weiter dreht. (Der Faktor 2 folgt aus dem Satz vom Umfangswinkel: Im Kreis ist der Mittelpunktswinkel der doppelte Umfangswinkel über demselben Bogen.) Also trifft der Ball sein Ziel, wenn u und α die Bedingung

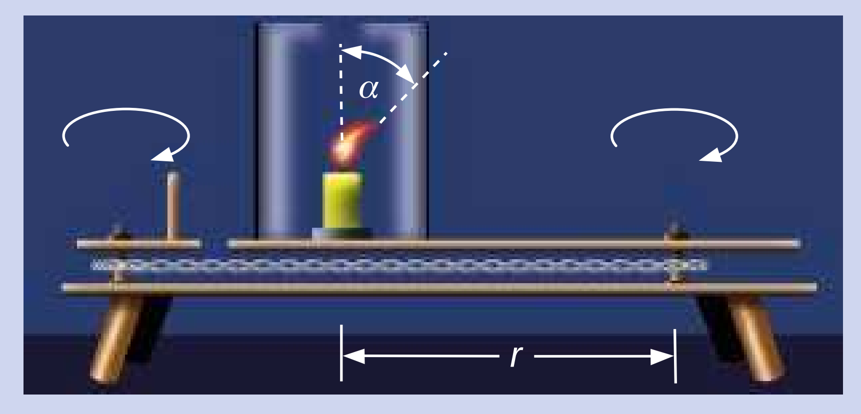
$$\frac{r\omega}{u} = \frac{\alpha}{\cos\alpha}$$

erfüllen. Für Bahnen, die n-fach die Achse umschlingen sollen, ist im Zähler $n\pi$ zu α zu addieren.

Ein Werfer im Karussellsystem muss nicht nur „vorhalten“, das heißt den Ball dorthin werfen, wo der Fänger erst zum Zeitpunkt τ sein wird, sondern auch die Geschwindigkeit $\vec{z}$ mit $z = r\omega$, die das Karussell dem Ball beim Abwurf mitgibt, kompensieren. Im Ergebnis muss er den Ball mit der Geschwindigkeit $\vec{v} = \vec{u} - \vec{z}$ abwerfen. Betrag v und Winkel β von $\vec{v}$ ergeben sich aus den Gleichungen $v\cos\beta = u\cos\alpha$ und $v\sin\beta = \omega r + u\sin\alpha$ (Bild rechts).



Auf das Gas im Kerzenzylinder (Bild unten) wirkt außer der Schwerkraft mg die Zentrifugalkraft $mr\omega^2$ (m Masse eines Gasteilchens, g Erdbeschleunigung, r Abstand der Kerze von der Drehachse, ω Winkelgeschwindigkeit). Ihr Verhältnis ist der Tangens des Neigungswinkels der Kerzenflamme: $\tan\alpha = r\omega^2/g$. Für $r = 0{,}4$ m, $\omega = 2\pi$/s (eine Umdrehung pro Sekunde) und $g = 10$ m/s^2 ergibt sich $\alpha \approx 58°$.



ablenken kann. Aber eine Kerze kann zur Ernährung ihrer Flamme nicht auf den Sauerstoff verzichten, der ihr von unten durch den Zustrom frischer Luft nachgeliefert wird, wenn die heißen Verbrennungsgase nach oben wegströmen. Wie weit wirkt die Umgebungsluft in das Karussell hinein? Verursacht sie einen Fahrtwind, vor dem das mitreisende Licht geschützt werden muss wie Lichter, die im Freien stehen?

Solche Bedenken veranlassten mich, für ein Experiment ein besonderes Kerzenkarussell zu bauen. Es besitzt nur einen einzigen drehbaren Arm, auf dem etwa vierzig Zentimeter von der Drehachse die Kerze steht, umgeben von einem offenen Plexiglaszylinder, in den durch Öffnungen am Boden von unten Luft einströmen und aus dem oben die Verbrennungsgase ausströmen können, ohne dass das zarte Flämmchen vom Fahrtwind gezaust oder gar ausgeblasen wird. Dieses „minimale“ Karussell wird aus der Entfernung über eine lange Kette mit einer Handkurbel angetrieben. So kann man beim Spielen die Drehzahl nach Belieben regeln. Wagen Sie eine Prognose: Neigt sich die Flamme? Wenn ja – nach innen oder nach außen?

Meine Erklärung stützt sich auf die Annahme, dass die Gasströmung um die Kerze in einem fahrenden Karussell bei konstanter Drehzahl im Wesentlichen die gleiche ist wie in einem stehenden – mit dem Unterschied, dass außer der nach unten gerichteten Schwerkraft die nach außen gerichtete Zentrifugalkraft wirkt. Ihre resultierende Kraft wirkt schräg nach unten und außen in die Richtung, in der die Ketten im fahrenden Kettenkarussell hängen (Bild links oben). Die Kerzenflamme stellt sich in die Gegenrichtung der scheinbaren Schwerkraft – nach innen.

Dreht sich das Mini-Karussell mit einer Drehzahl von einem Umlauf pro Sekunde, ist die Schieflage der Kerzenflamme von fast sechzig Grad deutlich zu sehen. Da die Abgase der Kerze in Bewegung sind, sollte die Flamme theoretisch auch durch die Corioliskraft abgelenkt werden, und zwar in Fahrtrichtung. Der Effekt ist aber bei der geringen Konvektionsgeschwindigkeit zu klein, um beobachtbar zu sein. ■

Weblink

Ein Java-Applet zum Kettenkarussell findet sich unter http://home.a-city.de/walter.fendt/phys/karussell.htm.

Touchscreens

Bildschirme mit Fingerspitzengefühl

Ob Fahrkartenautomat, Supermarktkasse oder Schaltpult, berührungsempfindliche Bildschirme, so genannte Touchscreens, sind weit verbreitet. Ein halbes Dutzend Anbieter sowie die entsprechenden Geschäftsbereiche von großen Herstellern produzierten im Jahr 2000 zusammen Geräte für insgesamt 800 Millionen Dollar – und der Markt wächst, denn diese Mensch-Maschine-Schnittstellen sind einfach zu handhaben, langlebig und preisgünstig. Sensorbildschirme arbeiten nach jeweils einem von drei physikalischen Prinzipien, um den Punkt zu bestimmen, an dem man sie berührt. Da gibt es die Bauweise mit Ohm'schem Widerstand – tippt man mit dem Finger oder dem Stift auf den Bildschirm, entsteht eine Spannung. Bei den kapazitiven Modellen nimmt die Fingerspitze einen winzigen Stromfluss auf (die Methode wird oft für Mousepads bei Notebooks verwendet). Bei der dritten Bildschirmart unterbricht der Finger oder Stift ein Muster von stehenden akustischen oder Infrarot-Wellen auf der Oberfläche des Schirms und nimmt Energie auf.

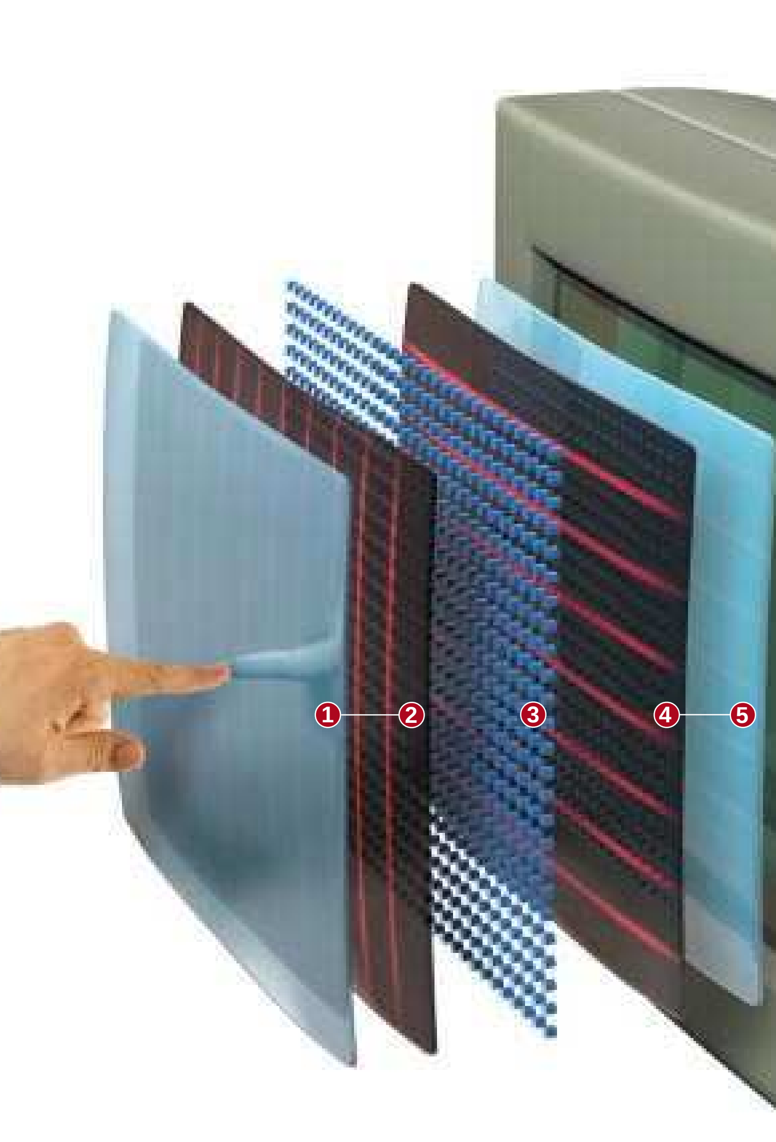
Das Widerstandsprinzip ist älter und verbreiteter als die beiden anderen, zudem liefert es die billigsten Modelle und funktioniert sowohl mit Finger- als auch mit Stift-Berührung. Kapazitive Bildschirme hingegen erfordern einen Strom leitenden „Gegenstand" wie den Finger. Bei den noch ziemlich teuren Bildschirmen mit akustischen Oberflächenwellen muss ein weiches Objekt wie ein Radiergummi oder eben wieder der Finger Energie aufnehmen. Bildschirme mit Infrarot-Oberflächenwellen stellen keinerlei Ansprüche, sind aber ebenfalls recht teuer. Je nach Anwendung wird der Entwickler die verschiedenen Vor- und Nachteile abwägen. Gängige Kombinationen sind: Bildschirme auf Widerstandsbasis für Industrieschaltpulte und Westentaschencomputer; kapazitive Monitore für Spielautomaten; Touchscreens mit Oberflächenwellen für Geldautomaten und Infoterminals. ■

Der Autor ***Mark Fischetti*** *ist Redakteur bei Scientific American.*



Wie funktioniert mein Bildschirm?

Um herauszufinden, nach welchem Prinzip ein Touchscreen arbeitet, drücken Sie sanft mit den Fingernägeln auf den Schirm (ohne Hautkontakt). Er könnte auf Widerstands- oder Infrarotbasis arbeiten, wenn er reagiert, andernfalls kapazitiv oder mit akustischen Wellen. Nun berühren Sie den Schirm mit zwei Fingern zur gleichen Zeit. Bewegt sich der Cursor unter einem davon, spricht das für Infrarot oder Akustik als Arbeitsprinzip, denn die Software hat die erste Berührung registriert. Taucht der Cursor zwischen beiden Fingern auf, deutet das auf Widerstands- oder Kapazitätsmessung, denn der Punkt wurde durch Mittelung bestimmt.



Messgröße Widerstand
Eine Glasplatte auf einer Braun'schen Röhre oder einem Flüssigkristalldisplay ist mit einem leitenden Material beschichtet. Winzige punktförmige Abstandhalter aus Polyester trennen sie von einer Abdeckscheibe, die innen mit einer leitfähigen metallischen Beschichtung überzogen ist. Ein Steuergerät erzeugt einen schwachen Spannungsgradienten über die x-Achse der Glasplatte und die y-Achse der Abdeckscheibe. Wenn die leitenden Schichten durch eine Berührung zusammengedrückt werden, ermittelt die Steuerungselektronik die Koordinaten.

ALLE GRAFIKEN: JOE ZEFF

Wusstten Sie, dass ... ?

➤ das Chaos um die Nachzählung der US-Präsidentenwahl in Florida nach Ansicht einschlägiger Hersteller durch Wahlmaschinen mit berührungsempfindlichen Bildschirmen hätte vermieden werden können?

➤ der Biologe Ken Marten vom Sea Life Park in Hawaii den ersten unterwassertauglichen Infrarot-Sensorschirm verwendet, um mit Delfinen zu kommunizieren? Der Computer erzeugt delfinähnliche Pfeif- und Klicktöne. Auf dem Bildschirm können die Delfine Bilder mit ihren Nasen berühren. Wenn dann einer die Computertöne für „hinauf“ nachahmt und gleich darauf nach oben schwimmt, ist ein Schritt auf dem Weg zu einer neuen Sprache getan.

➤ Bill Colwell, Ingenieur bei Elo TouchSystems, im Jahr 1977 den ersten berührungsempfindlichen Bildschirm auf Widerstandsbasis entwickelte? Aber erst das später erteilte Patent für die „Polyesterpunkte“, die die einzelnen Schichten des Schirms voneinander trennen, war der Schlüssel für die Vermarktung Anfang der achtziger Jahre.



❶ Abdeckscheibe aus Polyester mit kratzfester Beschichtung
❷ leitfähige Beschichtung
❸ Abstandhalter
❹ leitfähige Beschichtung
❺ Glasplatte
❻ Braun’sche Röhre / Flüssigkristallbildschirm

Messgröße Kapazität

Eine Glasplatte wird auf beiden Seiten mit einem leitfähigen Material beschichtet, die Außenseite zusätzlich mit einem Kratzschutz versehen. Ein Gitter aus senkrecht zueinander stehenden Elektroden erzeugt ein gleichförmiges elektrisches Feld auf der äußeren leitenden Schicht (die innere schirmt ab). Das ganze System entspricht einem Kondensator. Berührt ein Finger den Bildschirm, wird der Körper Teil davon und erhöht seine Kapazität (man spricht von kapazitiver Kopplung). In der Folge fließt ein schwacher elektrischer Strom über die von der Berührung betroffenen Elektroden, ein Steuergerät ermittelt die Koordinaten des Fingers.



❶ Elektroden
❷ Kratzschutz
❸ leitfähige Beschichtung
❹ Glasplatte
❺ leitfähige Beschichtung
❻ Braun’sche Röhre / Flüssigkristallbildschirm

Messgröße Energieabsorption

Der Bildschirm besteht aus einer unbeschichteten Glasplatte. In den Ecken befinden sich Wandler, die das von der Steuerung erzeugte Signal in Ultraschallwellen auf der Glasoberfläche umformen. Reflektoren an den seitlichen Rändern erzeugen daraus ein Muster aus stehenden Wellen. Wenn ein weicher Gegenstand den Bildschirm berührt, absorbiert er einen Teil der Welle. Die Wandler erfassen diese Veränderung, und die Steuerungselektronik bestimmt die Koordinaten der Berührung. Bei Infrarot-Schirmen erzeugen winzige Leuchtdioden (LEDs) und Fototransistoren entlang der Ränder ein festes Gitter aus unsichtbarem Infrarot-Licht – Finger oder Stift unterbrechen den Strahl.



❶ Signalgeber
❷ Reflektoren
❸ Glasscheibe
❹ Braun’sche Röhre / Flüssigkristallbildschirm

Jahresregister 2001

Dieser Index umfasst alle im Jahre 2001 erschienenen Hauptbeiträge (Artikel und Technoskop) sowie deren Autoren. Die Rubriken und Rezensionen sind aus Platzgründen nicht mit aufgenommen, aber im Internet (www.spektrum.de) und im elektronischen Gesamtregister enthalten, das ab Januar 2002 gesondert angeboten wird.

Hauptbeiträge

Autoren der Hauptbeiträge

Probelauf für den Mars

Im Vorgriff auf eine bemannte Marsmission probten Astronauten in den unwirtlichen Polarregionen Kanadas schon einmal den Alltag einer Forschungsstation auf dem roten Planeten.

New Orleans unter Wasser?

Das Mississippi-Delta wird vom Meer aufgefressen – New Orleans droht eines Tages unterzugehen. Auch andere dicht besiedelte Kulturlandschaften an Mündungen großer Flüsse sind von Überschwemmungen bedroht.



Von Klecksen und Irrtümern

Psychologen nutzen Techniken wie den Rohrschachtest zur Beurteilung von Persönlichkeit und geistiger Gesundheit. Doch Experten warnen, die Methode sei dafür oft gar nicht geeignet.

Molekulare Motoren

Winzige Maschinen verwandeln das molekulare Chaos ihrer Umgebung in nützliche Energie.



Künstliche 3D-Gewebe für die Leber

Winzige, im Labor gezüchtete dreidimensionale Gewebeblöckchen (Pfeil) sollen einmal eine geschädigte Leber in ihren Stoffwechselfunktionen unterstützen, bis das Organ sich erholt hat.



Weitere Themen im Januar

Evolution der menschlichen Geburt

Auch Frauen von Naturvölkern brauchen bei der Geburt meist Beistand. Babys können den Geburtskanal nicht geraden Wegs passieren. Sie müssen sich darin drehen und erscheinen oft mit dem Gesicht nach hinten.

Hypercomputer, Teil I

Das Weltklima, Fusionsreaktoren, die Faltung von Proteinen oder das Altern von Kernwaffen: Solche Probleme erfordern Computer mit der tausendfachen Leistung der stärksten heutigen Maschinen.